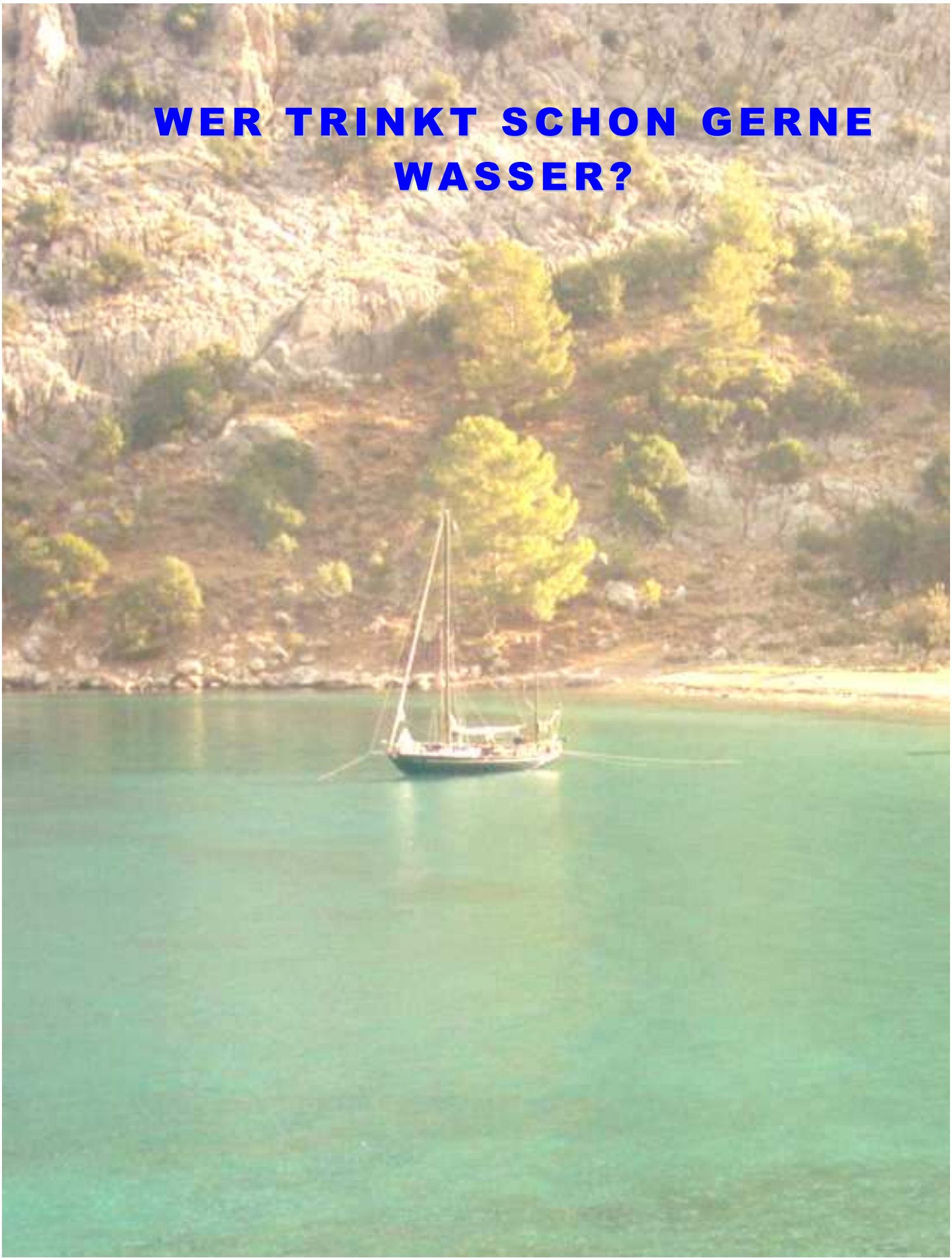
# WER TRINKT SCHON GERNE WASSER?



EIN HALBES FACHBUCH ZUM THEMA TRINKWASSER AUS MEERWASSER

NICHT NUR FÜR SEGLER

-von HANS BRÄUER-

## Der Autor

Hans Bräuer befasst sich zeit seines beruflichen Lebens mit Wasser.
Geboren in einer süddeutschen klein(bürgerlichen)Stadt schrieb er bereits mit 17Jahren seine Gesellenarbeit über die Analyse von Trinkwasser. Nach dem Ingenieurstudium im Fachbereich Chemie und einem kurzen Intermezzo als Leiter eines Forschungslabors von Nestlé arbeitet er seit 1981 ausschließlich auf dem Gebiet der industriellen Wasser- und Abwasseraufbereitung. Hierbei entwickelte er nicht nur neue Technologien im Bereich der Querstromfiltrationen, sondern auch eine völlig neue Art von Vakuumdestillationsanlagen mit Wärmepumpe. Viele der von ihm entwickelten Anlage arbeiten auch heute noch auf der ganzen Welt.
Erst auf seiner einjährigen Segelreise im Jahre 2000, während der er mit seiner Familie auf einem kleinen 10m-Segelboot das Mittelmeer bereiste, wurde ihm die Problematik der dezentralen Trinkwasserversorgung bewusst – hatten sie doch selbst immer wieder mit der Trinkwasserknappheit zu kämpfen.
Als Folge dieser Erfahrung beschäftigte er sich seit dem Jahr 2002 mit der Entwicklung kleiner autarker Systeme zur Trinkwassergewinnung. Viele Details dieser Entwicklungen sind zum Patent angemeldet.

## Über dieses Buch

***1) Dieses Buch habe ich bereits 2006 begonnen und bis 2011 aktualisiert. Seitdem fehlt mir oftmals die Zeit zur Aktualisierung und daher bitte ich um Nachsicht wenn's mal nicht mehr auf dem neusten Stand ist!***

**2) Dieses Buch soll ausschließlich zur privaten Information meiner Segelkameraden dienen und verfolgt keinerlei finanzielle Gewinnabsichten!**

**Ich bitte daher also auch darum von „Abmahnungen" - wie sie heute leider oftmals üblich sind – abzusehen und mich ggf. direkt zu kontaktieren.**

**3) Alle Angaben in diesem Buch habe ich nach bestem Wissen und Gewissen gemacht – aber Niemand ist unfehlbar und Fokushima ist auch nicht explodiert! – oder?**

Inhalt:
In diesem Buch erfahren Sie einiges über unser zum Leben so dringend notwendiges „Trinkwasser", über Zusammensetzung, Vorkommen aber auch über die Verschmutzungsproblematik. Dies alles natürlich mit dem Schwerpunkt der autarken Trinkwassergewinnung mittels kleiner Systeme auch auf Sportbooten. Die Ausführungen werden bewusst allgemein und hoffentlich für jeden verständlich gehalten. Es wird versucht die Informationen in möglichst plastischen Bildern zu vermitteln – schließlich sind nicht alle Chemiker und das Kauderwelsch unserer „Götter in Weiß" ist oftmals nur Ausdruck der eigenen Unwissenheit! Vieles werden Sie schon wissen – anderes wird neu sein und zum Verständnis der Trinkwassererzeugung aus Meerwasser – auf die der Autor spezialisiert ist - beitragen!

Der Autor freut sich über jedes Feedback zu den vorliegenden Informationen! Sollten Sie fachlich Rat wünschen, dürfen Sie sich gerne an den Autor wenden. Sie erreichen Ihn unter Email: en.tec@web.de.

Alle Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen zusammengetragen. Für Vollständigkeit und Richtigkeit wird keine Haftung übernommen.
Fremde Inhalte und Grafiken sind zwar in der Regel gekennzeichnet, dennoch besagt eine fehlende Kennzeichnung nicht, dass der Inhalt oder die Grafik frei verfügbar ist bzw. keinem Copyright unterliegt.

© 2011 Hans Bräuer soweit nichts anderes erwähnt ist.

# 1. WASSER ÜBERALL UND NICHTS ZU TRINKEN!

## 1.1 EINFÜHRUNG

In diesem ersten Kapitel erfahren Sie einiges über unser zum Leben so dringend notwendiges „Trinkwasser“, über Zusammensetzung, Vorkommen aber auch über die Verschmutzungsproblematik.

Diese Ausführungen sind allgemein und leichtverständlich gehalten.

Vieles werden Sie schon wissen – anderes wird neu sein und zum Verständnis der Trinkwassererzeugung aus Meerwasser beitragen!

Und spätestens seit dem der neue ***007*** im Kino läuft (2008) sollte eigentlich jeder wissen, um was sich die Probleme der Zukunft drehen!

**Wasser ist Grundlage allen Lebens auf unserer Erde!**
**Und schon heute sind mehr als 1,2 Milliarden Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser!**

## 1.2 WASSER: CHEMIE, PHYSIK UND HOMÖOPATHIE

**Wasser chemisch gesehen**

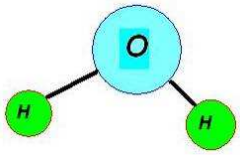
Wasser ist die Verbindung aus zwei Atomen Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff zum Wassermolekül $H_2O$ (chemisch gesehen). Dieses Molekül hat mit den einzelnen Atomen nichts mehr zu tun – genauso wie Kochsalz nichts mehr mit Salzsäure und Natronlauge zu tun hat, welches aus diesen beiden Substanzen entsteht!

**„Wir wissen heute mehr von der Oberfläche des Mondes als von den Tiefen der Ozeane!“**
Petro Martinez Arbizu vom DZMB im Spiegel7/06

**Einige Zahlen zum „$H_2O$“**

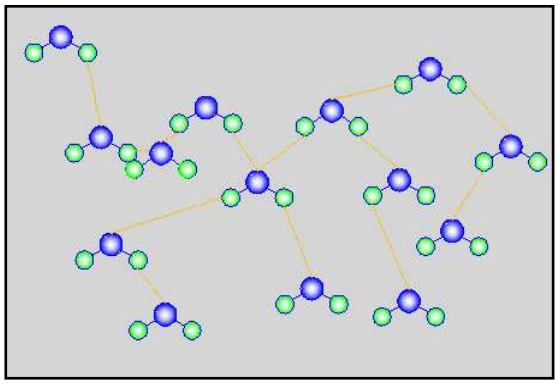
(alle Werte gelten für „Normalbedingungen“ = Atmosphärendruck)

| | |
|---|---|
| Gefrierpunkt: | 0℃ = 273K = 32℉ |
| Siedepunkt: | 100℃ = 373K = 212℉ |
| Dichte: | 1,0kg/l bei 4℃! |
| Dichte von Eis: | 0,9kg/l bei 0℃ |
| Verdampfungsenergie: | 2250kJ/kg = 0,625 kWh/l |




**„Anomalie des Wassers“**

Aufgrund der Zusammensetzung eines Moleküls kann der Naturwissenschaftler normalerweise die Eigenschaften desselben in etwa vorhersagen. Dies gelingt bei Wasser nicht, denn gemäss Vorhersage müsste unser gutes Nass unter „Normalbedingungen“ (= Atmosphärendruck und 20℃) gasförmig sein, wie sein Verwandter das $H_2S$ (kennt jeder = Stinkbombe oder faule Eier) => ist es aber nicht!
Der Grund hierfür liegt in Aufbau und Geometrie des Wassermoleküls, welches sich über sogenannte „Wasserstoffbrückenbindungen“ mit sich selbst verbindet und somit in großen Einheiten (so genannten „Cluster“) vorliegt (Na, jetzt sind wir doch nicht um einige „Fachausdrücke“ herumgekommen => aber man kann sich‘s auch einfach so vorstellen, dass die einzelnen Wassermoleküle wie ein Magnet mit den anderen zusammen“kleben“).



Diese Anomalie führt auch dazu, dass das Wasser seine größte Dichte nicht bei 0℃, sondern bei 4℃ hat (was auch wiederum der Grund dafür ist, das s Seen, Pfützen etc. immer von oben her zufrieren und sich darunter immer noch flüssiges Wasser befindet, welches dann aufgrund der

Isolierwirkung des an der Oberfläche gefrorenen, aufschwimmenden Wassers (=Eis), nur sehr langsam ganz gefriert. Dieser Effekt beschert uns auch die Eisberge der Polarregionen.
Auch die große Energiemenge, die zum Erhitzen oder Verdampfen des Wassers notwendig ist hängt mit der Anomalie des Wassers zusammen.

**Wasser in der Heilkunde**

In der **Naturheilkunde** werden dem Wasser Eigenschaften zugesprochen, die eigentlich jede wissenschaftliche Erklärung sprengen müssten (wer kennt nicht die Kneipp-Kuren; die „homöopathischen" Verdünnungen oder fragen Sie mal nach Paracelsus).
Es gibt aber auch Versuche, die **beweisen,** dass Wasser offensichtlich Strukturen von Substanzen annimmt, die - auch wenn kein einziges Molekül der Wirksubstanz mehr anwesend sein kann - immer noch im Wasser nachweisbar sind!
Also nicht nur Hokuspokus erwarten, wenn Jemand von der Heilkraft des Wassers spricht!
Man vermutet in wissenschaftlichen Kreisen übrigens, dass die „Clusterbildung" hier einen entscheidenden Teil der „Heil- und Lebenskraft", die dem Wasser zugesprochen wird, ausmacht.

## 1.3 DIE DEFINITION VON TRINKWASSER

Was ist „Trinkwasser" eigentlich?

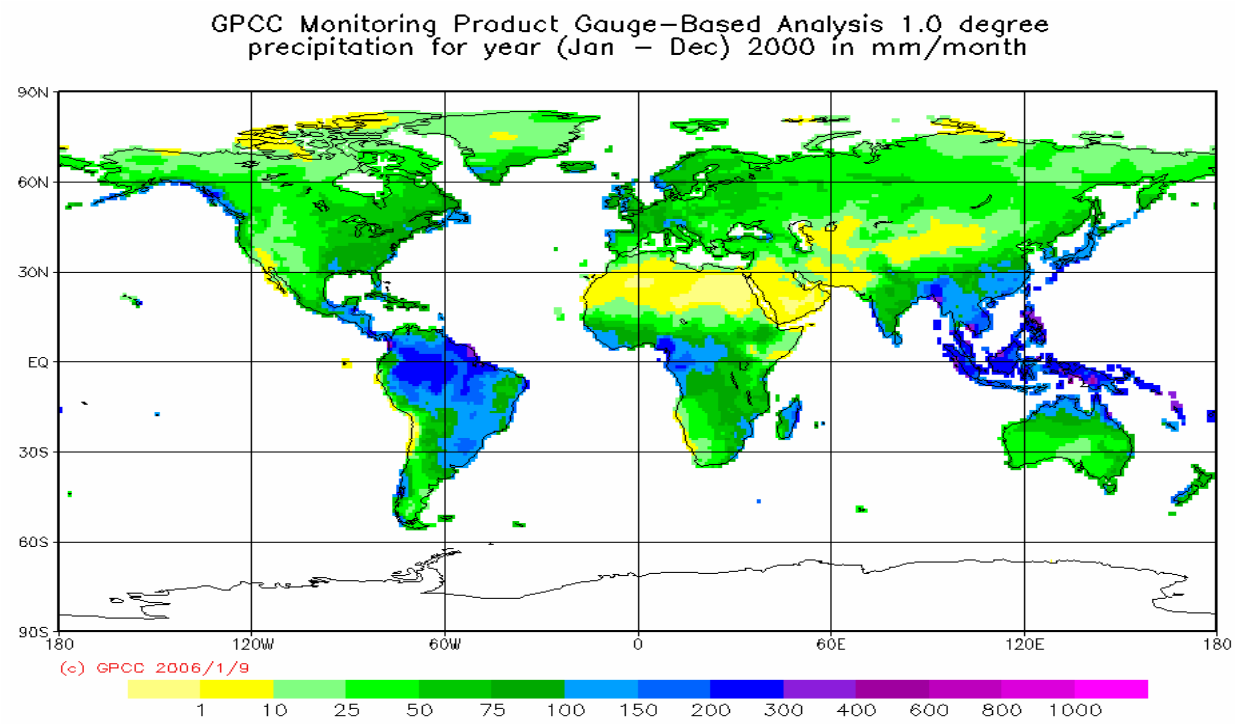
Die Anforderungen eines Wüstenbewohners dürften sich da wohl von unseren Vorstellungen sehr unterscheiden (Literatur: TUAREG von Alberto Vazquez-Figuero / ein unbedingt lesenswerter Roman!)
Sauberes Trinkwasser im Alltag ist bei uns – noch – selbstverständlich, aber gutes Wasser wird immer seltener!
Wurde es früher noch als Geschenk der Natur (oder der Götter) betrachtet, verehrt und entsprechend behandelt, so hat mit dem Entstehen unserer „Zivilisation" eine Entwicklung eingesetzt, die gerade in der westlichen Gesellschaft zur „kommerziellen" Nutzung und Verteilung des immer knapper werdenden „Natur-Geschenks" führt.
Obwohl es für uns selbstverständlich ist sauberes Wasser aus dem Wasserhahn geliefert zu bekommen und im Supermarkt von einer Auswahl an verschiedensten „Getränken" erschlagen zu werden, ist die zukünftige Versorgung mit Trinkwasser eher eine Frage des damit zu erzielenden Gewinns als der damit verbundenen Notwendigkeit!
Schon heute haben sich fast alle global ausgerichteten Energiekonzerne auf das „Thema Trinkwasser" gestürzt – denn Wasser, welches genießbar ist, wird immer knapper – auch in Mitteleuropa Versucht man nun die Qualität von Trinkwasser in Inhaltsstoffen und Zahlen zu definieren, so gibt es Literatur und wissenschaftliche Wälzer unterschiedlichster Art.
In Deutschland gilt das „Wasserhaushaltsgesetz" (kurz WHG) und die dazugehörigen Landeswassergesetze (diese schreiben vor, dass Trinkwasser frei sein muss oder bestimmte Höchstwerte nicht überschreiten darf an: Schwermetallen, Zyaniden, polyzyklischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, Nitraten, Pflanzenschutzmitteln etc., aber schon die Aussage, dass Trinkwasser in Geruch und Geschmack „für den Verbraucher annehmbar" sein soll, ist eine butterweiche Definition!). Darüber hinaus beschert uns die EU noch eine Flut von Richtlinien und Vorschriften (EU-Wasserrahmen-Richtlinien etc.), so dass auch unser Dusch- und Waschwasser gem. EU-Richtlinie Trinkwasserqualität haben muss. Im Anhang 1 finden Sie genaueres hierzu. In den USA gibt die USFDA (US Food and Drug Administration) die entsprechenden Gesetze und Verordnungen heraus (SWDA SafeDrinkingWaterAmendents, div. public and federal laws). Wollen Sie zu den umfangreichen Ausführungen der FDA mehr wissen, so finden Sie im Anhang 2 eine Auflistung von FDA-Grenzwerten.

**Zusammenfassung**

Tatsache ist, dass all diese Gesetze und Verordnungen uns zwar ein genießbares, aber immer noch kein gutes Trinkwasser beschreiben! Also machen wir's uns doch einfach: gutes Trinkwasser schmeckt gut, ist klar und farblos! Aber Vorsicht (!) es gibt bestimmte Stoffe und **Krankheitserreger,** die wir nicht schmecken, so dass wir doch wieder die obigen Werte zu Rate ziehen müssen.

## 1.4 WASSER =>> VORKOMMEN UND MENGE*

Über 70% unserer Erdoberfläche ist von Wasser bedeckt.
Die Wasservorkommen unseres Planeten Erde sind schlicht und ergreifend **unvorstellbar** groß!
In Zahlen (nach Baumgarter und Reichel 1975):
**Gesamt-Wasservorkommen** unseres Planeten: ca. **1.390.000.000.000.000.000 m³**
Davon **Süßwasser**: ca. 2,6% = **36.000.000.000.000.000 m³**




Der größte Teil dieses Süßwassers ist im **Polareis**, in den **Gletschern** und im **Meer-Eis** gebunden
Der Rest ist verteilt in der **Atmosphäre** (Wolken, Luftfeuchtigkeit =ca. 0,001%), in **Flüssen** und **Seen** (ca. 0,02%), im **Grundwasser** und der **Bodenfeuchte** (ca. 22%). Für den **Menschen** direkt nutzbar sind nur ca. **0,007%** der Gesamtwasservorkommen (ca.100.000.000.000.000 $m^3$). Dieses Wasser finden wir in Regen, Flüssen, Seen und vor allem im erreichbaren Grundwasser – **wobei die globale Verteilung stark schwankt** (siehe obenstehende Graphik – aus UN-Report GEO2000).

## 1.5 WASSERBEDARF

Ein erwachsener Mensch braucht normalerweise 2 bis 5l Wasser am Tag zum Leben. Eigentlich ist dies nicht viel und unser momentan global verfügbarer Trinkwasservorrat von ca.100.000 $km^3$ müsste daher rein rechnerisch für über 7.000 Jahre reichen! Leider ist dem aber nicht so und der Grund hierfür ist der enorme Verbrauch an Wasser, welches wir nicht als Trinkwasser nutzen. Dies führt dazu, dass wir wesentlich mehr Wasser „verbrauchen“ als wir eigentlich aufgrund unserer Lebensgewohnheiten erwarten würden!

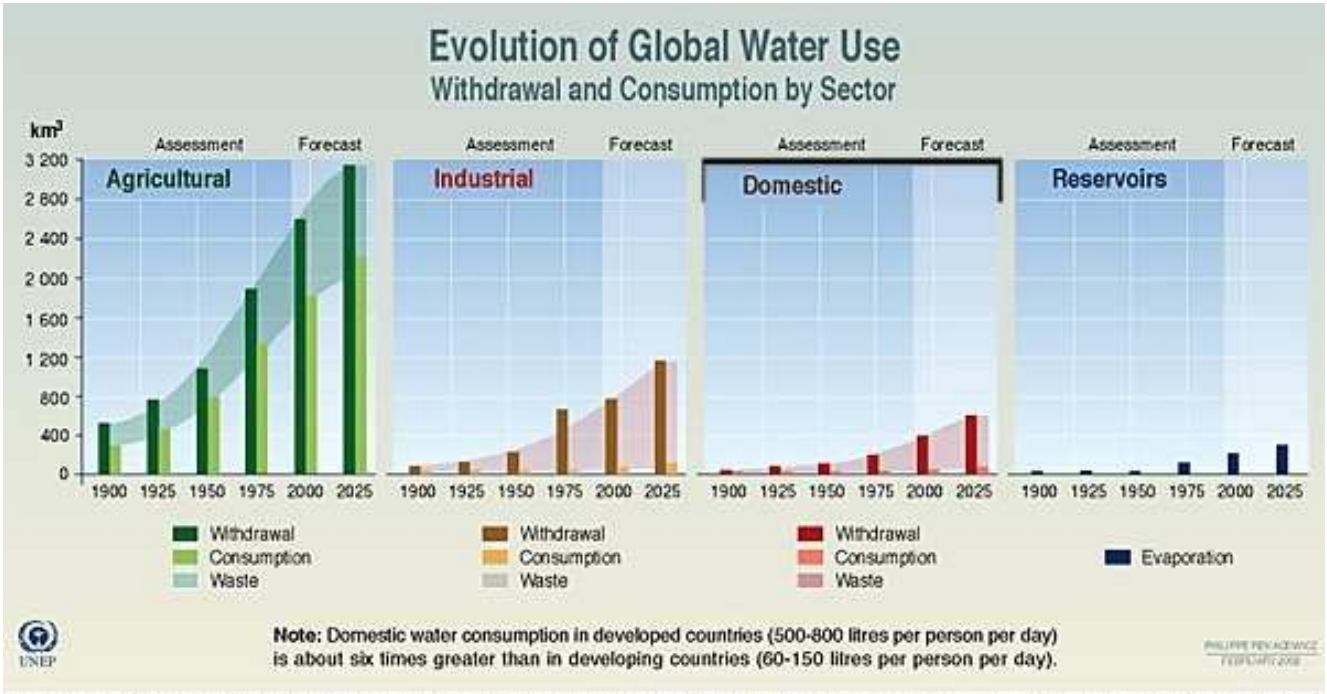
**Wasserverbrauch in m³ pro Kopf im Jahr 1987**
*(nach Belyaev, IoG, USSR N.A.o.S.)*
Diese Zahlen besagen nichts anderes, als dass unser europäischer Lebensstil zu einem täglichen Wasserverbrauch von **über 3 Tonnen** pro Person führt! Und dass ein Afrikaner nur ca. 1/5 unseres Wasserverbrauchs zur Verfügung hat!

| | | |
|---|---|---|
| Afrika: | 245 | m³ |
| Asien: | 519 | m³ |
| Südamerika: | 478 | m³ |
| USSR: | 713 | m³ |
| Europa: | 1.280 | m³ |
| Nordamerika: | 1.861 | m³ |

* *Alle Graphiken dieses Kapitels stammen aus den Veröffentlichungen der UNO / © by UN*

**Wo aber wird dieses ganze Wasser verbraucht?**

Gemäß einer UN-Studie werden 75% bis 85% in der Agrarindustrie (Monsanto und Co. lassen grüssen!), 20% in der Industrie und nur 5% in den Haushalten verbraucht!
Tendenz steigend!




Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational,Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999.

**Wasserverbrauch für Langfahrtsegler oder einsame Inseln**

Es gibt auf unseren Segelbooten normalerweise weder Landwirtschaft noch Industrie. Trotzdem ist der Trinkwasserbedarf einer Yacht nur als Näherungswert überhaupt zu fassen. Denn während der Eine das Wasser wirklich nur zum Trinken und Kochen verwendet, sich die Zähne mit Meerwasser putzt und auch seine Spaghetti mit 50% Meerwasser kocht, möchte der Andere sich selbstverständlich nach jedem Bad im Meer mit Süßwasser abduschen und auch sein Deck und seine Segel mit Süßwasser spülen, hat eine Waschmaschine und möchte ja auch noch den „Kräutergarten“ gießen…. Entsprechend gibt es Menschen wie Wilfried Erdmann, die ohne jegliche Wasseraufbereitung in ihrer Nuss-Schale eine Nonstop-Weltumsegelung machen und andere die auf ihrer 50 Fuß-Yacht mit 2 Personen an Bord täglich 500l Süßwasser brauchen!

**Verbrauchsberechnung**

Mit nachfolgenden Werten sollte der tägliche Trinkwasserbedarf einer Yacht näherungsweise ermittelt werden können:

| | | |
|---|---|---|
| Trinken: | | 2l – 4l /Person |
| Waschen: | sparsam: | 2l /Person |
| | normal | 5l /Person |
| | ausgiebig inkl. Duschen | 15l /Person |
| Kochen/Spülen: | sparsam: | 2l /Person |
| | normal: | 4l /Person |
| | | |
| Waschmaschine | sparsam | 15l /Waschgang |
| | Normal | 40l /Waschgang |

Daraus ergibt sich, dass wir eigentlich mit 4l pro Person und Tag auskommen können. Tatsächlich ist der Autor auf seinem Boot während seiner einjährigen Segelreise problemlos mit 60 Litern Trinkwasser über eine Woche ausgekommen (2 Erwachsene, 1 Kind und 1 großer Hund).
Allerdings soll hier auch nicht verschweigen dass in derselben Zeit ca. 3l Bier und 5l Wein benötigt wurden => **Wer trinkt schon gerne Wasser?**

## 1.6 WASSERKNAPPHEIT ODER GIBT'S WIRKLICH NICHTS ZU TRINKEN?

**UNO: „Im Jahr 2050 werden 40% der Menschheit in 50 Ländern dieser Welt unter Wassermangel leiden!“**

Unsere Trinkwasserressourcen sind sehr ungleich über den Planeten verteilt und werden außerdem immer knapper. Es gibt erste Studien, dass sogar wasserreiche Städte mit einer vorbildlichen Wasserwirtschaft (z.B. Hamburg) in einigen Jahrzehnten mit Wasserknappheit rechnen müssen!

***Schon heute sind nach UNO-Angaben 1,5 Milliarden(!) Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser .***

Neueste Studien der UN (*UNEP = United Nation Environmental Program*) gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2025 bereits 2,8 Milliarden Menschen in 48 Ländern unter Wassermangel leiden, im Jahr 2050 werden es bereits 40% der Menschheit oder 4 Milliarden Menschen in 50 Ländern sein!

Diese fortschreitende Trinkwasserknappheit hat verschiedene Ursachen:

**Die Erdbevölkerung und damit auch der Trinkwasserbedarf steigen beständig.**

Die schnell steigende Zahl der Erdbevölkerung, der Wunsch nach „westlichem“ Lebensstil kombiniert mit der Intensivierung der Agrarindustrie und der damit verbundenen „Denaturierung“ der Pflanzen und Böden sowie die fortschreitende Industrialisierung haben zu einer globalen Wasser-Krise geführt, die erst an ihrem Anfang steht.

Schon heute haben 50% der Menschheit keine Sanitäranlagen, die diesen Namen verdienen; 20% aller Menschen haben keinen regelmäßigen Zugang zu sauberem Trinkwasser.

Seit Jahren fordert die UNO ein „Menschenrecht“ auf 20l sauberes Trinkwasser pro Person und Tag!

**Zu geringe Ressourcen**

In vielen Gebieten dieser Welt sind die natürlichen Trinkwasserressourcen (Grundwasser, Flüsse, Seen, Regen etc.) so gering, dass sie nicht ausreichen um die ständig wachsende Bevölkerung zu versorgen.

**Umweltverschmutzung**

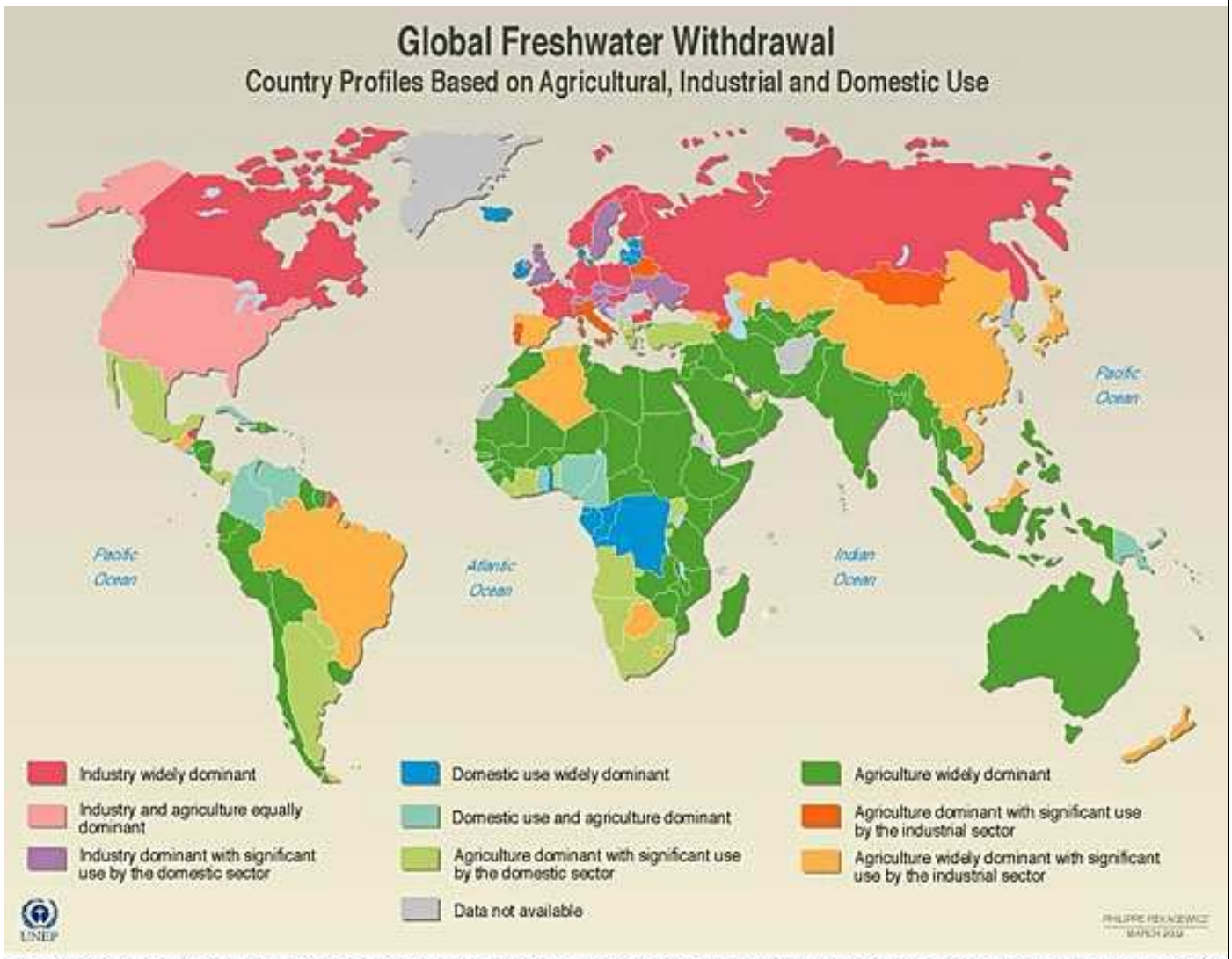
Durch die ständig fortschreitende Umweltverschmutzung (Stichwort: Düngemittel, Herbizide, Pestizide, Fäkalien im Grund- und Oberflächenwasser, Schwermetalle in Seen und Flüssen, Kontaminierung mit Krankheitserregern etc.) wird immer mehr, eigentlich gutes Wasser, ungenießbar.

**Denaturalisierung durch menschliche Eingriffe**

Die exzessiven Eingriffe zur Wassernutzung durch den Menschen zerstören immer mehr natürliche Trinkwasserressourcen.

Nur einige Stichworte hierzu:

- **Aralsee** / dieser große See ist durch die Übernutzung der letzten 50 Jahre praktisch verschwunden
- „**Wasserkrieg**“ in Kalifornien / Grosse Seen trocknen aus, der Colorado ist zeitweise nur noch ein Rinnsal und die Böden des „Gemüsegartens“ sind größtenteils versalzt,
- **Jangtse-Staudammprojekt** / aus den großen „Reservoirs“ verdunstet und versickert teilweise mehr Wasser als genutzt werden kann,
- **Sinkende Grundwasserspiegel** / unter der Wüste z.B. um mehrere Meter im Jahr!
- **Versalzung von Grundwasser** Durch Übernutzung fallen die Grundwasserspiegel und führen zum Eindringen von Meerwasser in küstennahe Grundwassergebiete und somit zum versalzen dieser Wasserreservoirs.
- **Bodenversalzung** durch künstliche Bewässerung
- **„Wasserexport**“ durch Blumen-, Obst- und Gemüseexport aus warmen wasserarmen Gebieten. Unsere ständig gefüllten Gemüse- und Obstregale sind zwar schön – die Folgen aufgrund der exzessiven Wassernutzung der Anbauer sind für die Bewohner – nicht nur der Anbaugebiete - teilweise schon grotesk!
- **Verunreinigung** durch Fäkalien und Krankheitserreger von Mensch und Tier (! 50% der Menschheit haben keinen Zugang zu sanitären Einrichtungen! Und gem. einer UN-Studie gelangen täglich 2 Millionen Tonnen Abwasser in Seen und Flüsse!)


Global Freshwater Withdrawal
Country Profiles Based on Agricultural, Industrial and Domestic Use
Pacific Ocean
Atlantic Ocean
Indian Ocean
Pacific Ocean
Industry widely dominant
Industry and agriculture equally dominant
Industry dominant with significant use by the domestic sector
Domestic use widely dominant
Domestic use and agriculture dominant
Agriculture dominant with significant use by the domestic sector
Data not available
Agriculture widely dominant
Agriculture dominant with significant use by the industrial sector
Agriculture widely dominant with significant use by the industrial sector
UNEP

Source: Based on data fromTable FW1 in *World Resources 2000-2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*, World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000

Bis zum Jahr 2025 erwartet die UNO, dass 2/3 aller Menschen unter Wasserknappheit oder Wassermangel leiden und unsere begrenzten Wasser-Ressourcen werden weiter sinken

Für ausführliche Informationen empfehlen wir den UNO-Bericht „GEO2005“, aus dem auch der größte Teil der verwendeten Graphiken stammt!

## 1.7 WASSERAUFBEREITUNG

**Schonung unserer Wasserressourcen, verantwortungsvoller Umgang mit unserem Lebenselixier und Rückkehr zu „naturgemäßer“ Landwirtschaft ist effektiver als jede Aufbereitungsmethode dieser Welt!**

Unter dem Begriff Wasseraufbereitung wird hierbei jede chemische, physikalische Aufbereitung verstanden, die dem Zwecke dient Wasser für den Menschen „trinkbar“ und nutzbar zu machen. Theoretisch können wir heute aus jedem Wasser Trinkwasser gewinnen – theoretisch! Beachtet man den notwendigen technischen und energetischen Aufwand, scheiden die meisten Möglichkeiten jedoch schnell wieder aus. Und dass unsere „Energie“ größtenteils aus Öl, (das nicht mehr lange vorhält) Kohle und Gas gewonnen wird weiß jeder – und auch der daraus resultierende Treibhauseffekt ist wohl jedem zwischenzeitlich bekannt?
Auch das Wasser unserer „normalen“ Wasserversorgung wird meistens aufbereitet, d.h. von bestimmten unerwünschten oder gar schädlichen Begleitstoffen befreit. Die Vielfalt der industriellen Aufbereitungsmethoden ist so groß, wie die Wasserverschmutzungen in Art und Menge! Sie reicht von einfacher Filtration über Schwermetallabtrennung bis zur Erzeugung reinsten Wassers und Re-Mineralisierung.
Nachfolgend nur die gängigsten industriellen Verfahren stichwortartig im Überblick:

**Filtration:**

Filtration dient der Entfernung unerwünschter Begleitstoffe und Trübungen. Oftmals wird die Filtration nach einer vorherigen chemischen Behandlung durchgeführt (siehe z.B. unten „Eisen“). Die verwendeten Filtrationsmethoden umfassen hierbei ein extrem weites Spektrum: sie reichen von einfachen z.T. natürlichen Kiesbettfiltern über Anschwemmfilter, Filtersäulen, Keramikfilter, Aktivkohlefilter bis zu den Feinstfiltrationsverfahren: Querstrommikrofiltration, Ultrafiltration und Umkehrosmose, mit deren Hilfe sogar Meerwasser entsalzt werden kann. Mit diesem speziellen Verfahren werden heute bereits 15.000.000.000m³ Trinkwasser im Jahr aus Meerwasser gewonnen. Mehr dazu erfahren Sie in diesem Buch!

Großtechnisch werden vor allem die Kiesbettfiltration und die Filtration über Druckfilter zur Trinkwasseraufbereitung aus Süßwasser angewandt.

**Enteisenung:**

In vielen Grundwässern ist Eisen als 2-wertige Verbindung enthalten. Diese Eisenverbindungen verursachen einen sehr unangenehmen “metallischen“ Geschmack, außerdem, in höheren Konzentrationen, eine Braunfärbung sowie eine Trübung! Zum Entfernen dieser Eisen-2-Verbindungen wird das Eisen zunächst in seine unlöslichere 3-wertige Verbindung überführt indem es oxidiert wird; diese Oxidation kann durch Luft, Ozon, Permanganat oder Chlor erfolgen. Anschließend werden die Eisen-3-Verbindungen durch Flockung, Sedimentation und Filtration abgetrennt.

**Entmanganung:**

Vorkommen, Auswirkung und Entfernung wie „Eisen“

**Enthärtung:**

Oftmals ist Grundwasser „zu hart“, was eigentlich nicht gesundheitsschädlich ist, aber in Rohrleitungen, Waschmaschinen etc. zu Problemen sowie bei sehr hohen Härtegehalten auch zur Trübung des Trinkwassers führt. Härtebildner sind Kalzium- und Magnesium-Ionen im Rohwasser. Behandelt wird dies in den Wasserwerken durch Ausfällen und Abfiltrieren der Härtebildner (meist durch Zugabe von Weisskalk).

**Desinfektion:**

Rohwasser ist oftmals mit Bakterien und anderen „Kleinst-Lebewesen“ verschmutzt. Um hier nur einige aufzuführen: Salmonellen und Kolikeime (meist aus Fäkalien), Polio-Viren, Hepatitis-Erreger, Bilharziose, Giarda etc. Bei uns wird - um schädliche Keime im Trinkwasser zu vermeiden - unser Rohwasser meist „desinfiziert“. Hierzu werden verschiedene Desinfektionsmittel verwendet: Kalzium- oder Natriumhypochlorit, Chlor (gasförmig oder elektrolytisch hergestellt), Ozon, Chlordioxid. Bei all diesen Verfahren ist unbedingt die Entstehung der so genannten THM’s (Trihalogenmethane) zu beachten, die ihrerseits gesundheitsschädlich sind! Als weiteres – leider sehr energieaufwendiges - Verfahren (>400J/m²) ist noch die Bestrahlung mit UV-Licht (240 - 290nm Wellenlänge) im Einsatz.

Die Behandlung mit Silberionen wird nur noch in Ausnahmefällen angewendet und ist gem. den EU-Trinkwasserrichtlinien nicht mehr erlaubt.

# 2. DIE TRINKWASSERGEWINNUNG AUS MEERWASSER

## 2.1 EINFÜHRUNG

Trinkwasser ist, wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, ein rares Gut und wird in den nächsten Jahrzehnten immer knapper. Obwohl Wasser in nahezu unbegrenzter Menge in Form von Meerwasser auf unserem Planeten zur Verfügung steht, ist doch nur ein verschwindend kleiner Teil davon (ca. 0,007%) direkt für den Menschen als Süßwasser nutzbar! Schon früh begann man daher mit dem Versuch Trinkwasser aus Meerwasser zu gewinnen. Heute werden 2 Verfahren großtechnisch zur Trinkwassergewinnung aus Meerwasser genutzt:
**die Destillation**
und
**die RO-Anlagen** (RO=Revers-Osmose) siehe Kapitel 3.

Obwohl es bei den Kleinanlagen auch Destillationsanlagen gibt, wurden diese bisher so gut wie nicht für die Trinkwassergewinnung eingesetzt. Grund hierfür ist der recht hohe – und damit teure – Energieaufwand bzw. bei energetisch günstigeren Anlagen der sehr hohe technische Aufwand. Erst in jüngster Zeit gibt es auch „kleine“ stationäre und solarbetriebene Destillationsanlagen, die in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung durchaus konkurrenzfähig zu den verbreiteten RO-Anlagen sind, die aber aufgrund des enormen Flächenbedarfs für Boote nicht in Frage kommen - mit Ausnahme der „Notversorgung“ wie diese in vielen Rettungsbooten und auch bei der NATO zum Einsatz kommen (siehe weiter unten).
Bisher nicht in über den Labormasstab hinaus gekommen sind Elektrodialyse-Anlagen; hier wird die nahe Zukunft zeigen ob sich diese Anlagen tatsächlich einen Platz in der Trinkwassergewinnung sichern können.
Keine Rolle bei der Trinkwassergewinnung spielen die IAT- (Ionen-Austausch-)Verfahren, was mit den zur Regeneration der Austauscher notwendigen grossen Mengen an Säure und Lauge zusammenhängt.

**Destillationsanlagen**

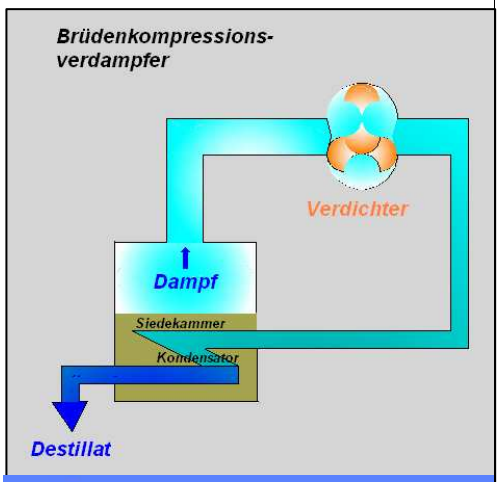
Bei den Destillationsanlagen (die fälschlicherweise oftmals auch als „Verdampfer“ bezeichnet werden) wird das Meerwasser durch erhitzen verdampft und der Dampf sodann wieder kondensiert.
Das hierbei entstehende Destillat ist nicht direkt als Trinkwasser nutzbar, sondern muss vor Gebrauch „re-mineralisiert“ werden, was im Regelfall durch verschneiden mit dem Rohwasser (Meerwasser) geschieht. Um den sehr hohen Energieaufwand (ca. 630kWh/m³ Wasser) zu minimieren wird heute die bei der Kondensation entstehende Wärme (Verdampfungsenergie ≈ Kondensationsenergie) genutzt. Destillationsanlagen sind seit über 50 Jahren zur Trinkwassergewinnung aus Meerwasser im Einsatz und produzieren auch heute noch knapp die Hälfte des so gewonnenen Trinkwassers.
Es sind grosstechnisch mehrere verschiedene Anlagentypen im Einsatz:

**MSE: (Multiple Stage Evaporator)**

Dies sind mehrstufigen (meist 4-stufig) „Vakuumverdampfer“ wobei durch die mehrstufige Bauweise der Energieverbrauch (Wärmeenergie!) stark reduziert wird (ca. 100 – 200 kWh / m³ Wasser). Die Wärmeenergie wird hierbei meist in Form von Dampf mit ca. 2 bar Druck zugeführt. Die einzelnen Destillationskammern stehen unter unterschiedlich hohem Vakuum, wodurch der Siedepunkt des Meerwassers entsprechend dem Vakuum sinkt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Absolut-Druck (mbar) | 1010 | 474 | 200 | 74 |
| Relativ-Druck (at) | 0,029 | -0,52 | -0,80 | -0,93 |
| Siedetemperatur (℃) | 100 | 80 | 60 | 40 |

Die Reduktion des Energieverbrauchs wird hierbei durch die Energierückgewinnung bei der Dampf-Kondensation in der jeweils nachfolgenden Siedekammer erreicht. Die heute angewendeten Bauformen reichen hierbei von normalen mehrstufigen Destillationsanlagen mit mechanischen Vakuumpumpen bis zu sogenannten Multiple-Stage-Flasch-Evaporators und Vakuumerzeugung über eine Venturi-Düse durch den Heissdampf. Die realisierten Anlagengrössen reichen von wenigen m³/Tag bis zu mehreren 1000m³ /Tag.

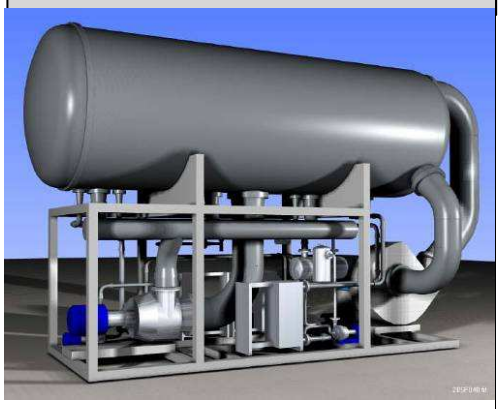



**Brüdenkompressions-Verfahren**

Brüdenkompressionsverdampfer sind Destillationsanlagen, bei denen der in der Siedekammer entstehende Wasserdampf durch einen Verdichter komprimiert wird, wobei sowohl der Druck als auch die Temperatur des Dampfes steigen. Dieser Dampf kann dann wieder zur Erwärmung des Meerwassers in der Siedekammer verwendet werden, wobei er zum größten Teil bereits kondensiert. Hier wird also die Kondensationsenergie direkt zur Verdampfung (Sieden) des Meerwassers in der Siedekammer verwendet. Der Siedevorgang läuft in diesen Anlagen im leichten Vakuum (ca. 500mbar absolut-Druck) bei Temperaturen zwischen 60℃ und 80℃ ab. Die Überschussenergie im Dampf wi rd meist noch zur Vorwärmung des Meerwassers verwendet.

Als Verdichter werden hier sowohl volumetrische Verdichter (ROOTS-Lader oder Wälzkolbenverdichter) als auch Gebläse verwendet.

Solch eine Anlage mit Gebläse und riesigen Wärmetauscherflächen (durch ein patentiertes Wärmetauschersystem) ist der AQUAmax-Verdampfer der finnischen Firma Hadwako. Diese Geräte arbeiten, wenn sie einmal auf Arbeitsdruck und –Temperatur sind, mit relativ geringen Energiemengen; es wurden Anlagen mit einem Energieverbrauch (elektrische Energie!) von deutlich unter 10kWh/m³ und einer Kapazität von mehreren 100m³/Tag realisiert.



**Solar-betriebene Destillationsanlagen**

In den letzten Jahren wurden erstmals „kleine“ Destillationsanlagen auch für Meerwasser entwickelt, die als Energielieferant spezielle Sonnenkollektoren verwenden. Die Anlagengrösse selbst wird durch die Sonnenkollektoren bestimmt; pro Quadratmeter Kollektorfläche können nur 10 – 20l Trinkwasser/Tag erzeugt werden! Da die zum Verdampfen des Wassers notwendige Energie durch die Sonne erbracht wird, werden zum Betrieb dieser Anlagen nur noch ca. 1 – 5kWh/m³ an elektrischer Energie zum Betrieb der Pumpen und Regelarmaturen benötigt. Anlagengrössen bis zu 1000m³/Tag sollen hier möglich sein (www.witt-solar.com). Im Planungsstadium befinden sich solarbetriebene Meerwasserentsalzunsanlagen mit bis zu 5.000m³/Tag. Auch sehr einfache kleine Anlagen sind bereits auf dem Markt. In der Forschung sind bereits mehrstufige Kleinanlagen in der Erprobung – die ersten marktreifen Geräte dürften hier bereits 2010 zu erwarten sein!

Eine Sonderfunktion nehmen Rettungsgeräte zur Notversorgung ein. Hier gibt es kleine aufblasbare Destillationsblasen aus PVC die notfalls auch in der Wüste und mit eigenen Körperflüssigkeiten funktionieren und heute bei den Militärs zur Standard-Ausrüstung gehören ( NATO-Nr.: 461 066 144 2646). Mit diesen Geräten lassen sich je nach Sonneneinstrahlung 0,5 – 2l Wasser pro Tag erzeugen! Eine einfache Ausführung gibt es als transparente Kunststoffhaupe (www.watercone.com)

**Vakuum-Destillationsanlagen mit Wärmepumpe**

Vakuum-Destillationsanlagen mit Wärmepumpe werden in der Trinkwassergewinnung aus Meerwasser nicht angewendet, da der Energieverbrauch und der technische Aufwand – und somit der Anlagenpreis - viel zu hoch sind.

## 2.2 DAS MEERWASSER

Über 80% der Erdoberfläche sind von unseren Meeren bedeckt, wobei die Meerestiefe bis über 10.000 m reicht. Die Zusammensetzung des Meerwassers ist in allen Meeren ähnlich, schwankt aber im Salzgehalt normalerweise zwischen 32 und bis zu 44 g Salz/l (im Toten Meer noch höher!).

Insbesondere in den Küstenregionen treten teilweise starke Verunreinigungen durch Einleiten von Abwässern sowie durch Zufluss stark belasteter Flüsse auf, wodurch sich die Zusammensetzung des Meerwassers stark ändern kann!

Salzgehalte unterschiedlicher Meerregionen:

| | |
|---|---|
| Pazifik | 32- 35 g/l |
| Atlantik | 35 - 38 g/l |
| Mittelmeer | 35 - 41 g/l |
| Rotes Meer | 42 - 44 g/l |

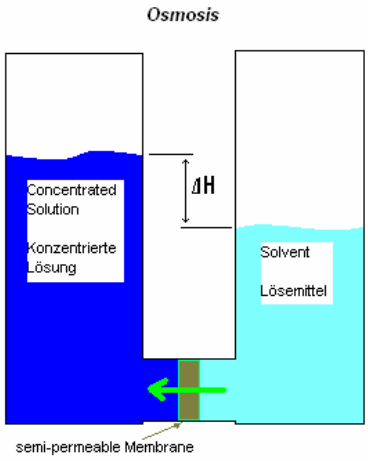
**durchschnittliche Zusammensetzung eines Meerwassers mit 35g/l Salzgehalt**

| | Name | chem. | mg/l |
|---|---|---|---|
| **Kationen:** | **Natrium** | **$Na^+$** | **10.900** |
| | **Magnesium** | **$Mg^{2+}$** | **1.300** |
| | **Kalzium** | **$Ca^{2+}$** | **400** |
| | **Kalium** | **$K^+$** | **390** |
| | **Strontium** | **$Sr^{2+}$** | **13** |
| | **Silizium** | **Si** | **8** |
| | **Barium** | **$Ba^{2+}$** | **0,06** |
| | **Eisen** | **$Fe^{2+}$** | **< 0,02** |
| | **Mangan** | **Mn** | **< 0,01** |
| **Anionen:** | **Chlorid** | **$Cl^-$** | **19.700** |
| | **Sulfat** | **$SO_4^{2-}$** | **2.750** |
| | **Karbonate** | **$CO_3^{2-}$** | **150** |
| | **Bromid** | **$Br^-$** | **70** |
| | **Bor** | **B** | **5** |
| | **Fluorid** | **$F^-$** | **1,5** |

## DIE RO (RO =„REVERS-OSMOSE“=UMKEHROSMOSE)

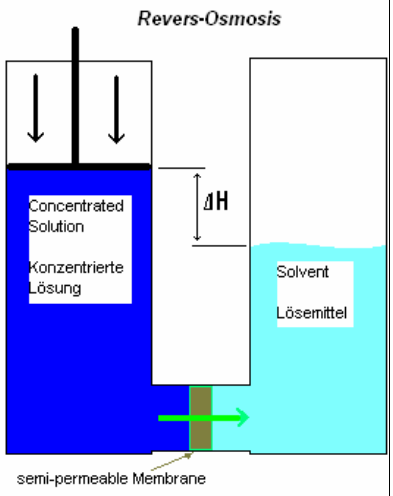
Den Grundsätzen der Umkehrosmose wird hier ein eigenes und ausführliches Kapitel gewidmet, da dies heute die am meisten verbreitete Form der Trinkwassergewinnung aus Brack- & Meerwasser ist. Alle auf Sportbooten betriebenen sogenannten „Watermaker“ arbeiten nach diesem Prinzip. Sollten Sie diese „Grundsätze“ nicht interessieren, so lesen Sie gleich ab Kapitel 4 weiter.

### 2.3 GRUNDLAGE DER REVERS-OSMOSE




**Osmose**

Der Begriff stammt aus dem griechischen und beschreibt ein Phänomen, bei dem das Lösungsmittel einer Lösung (z.B. Wasser) in eine stärker konzentrierte Lösung (z.B. Meerwasser) übergeht, die durch eine feinporige (semipermeable) Scheidewand (=Membrane) getrennt ist, um die konzentriertere Lösung zu verdünnen. Wichtig ist, dass hierbei die Membrane zwar das Lösemittel (Wasser), nicht aber den gelösten Stoff (Salz), passieren lässt. Die treibende Kraft beschreibt der 2te Hauptsatz der Thermodynamik, der vereinfacht besagt, dass alle Zustände dem grösstmöglichen Chaos zustreben; => in diesem Fall versucht das System auf beiden Seiten die gleiche Konzentration zu erreichen; da aber das Salz die Membrane nicht passieren kann, wandert das Wasser auf die Seite mit der höheren Konzentration um diese zu verdünnen. Das Gleichgewicht wird erst erreicht, wenn eine bestimmte Differenz-Höhe (ΔH) erreicht ist. Der hierbei aufgrund der Höhendifferenz ausgeübte Druck ist der sogenannte **osmotische Druck.** Dieser Prozess kann umgekehrt werden und wird dann zur Umkehrosmose (Revers-Osmose oder kurz RO).



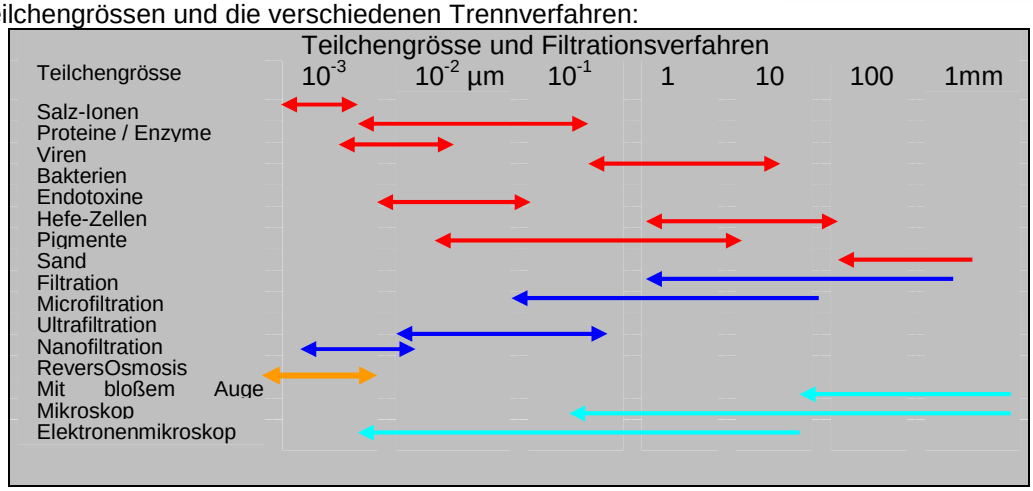

**Revers-Osmose:**

Wenn auf die konzentriertere Lösung ein ausreichend großer Druck ausgeübt wird, wandert das Lösemittel aus der konzentrierten Lösung durch die Membrane ab.

**Partikelgrössen und Porenweite**

Revers-Osmose - kurz RO genannt – ist im weitesten Sinne ein Filtrationsverfahren, wobei jedoch die „Teilchengrösse“ die abfiltriert wird die Größe von 1-wertigen Ionen hat, was einer „Porenweite“ von < 0,002µm (!) entspricht!

Nachstehende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über Teilchengrössen und die verschiedenen Trennverfahren:



**Osmotischer Druck einer Salzlösung**

Der osmotische Druck einer Salzlösung ist abhängig von der Konzentration des Salzes, des spezifischen osmotischen Drucks des Salzes und der Temperatur. Er berechnet sich nach nebenstehender Formel. Als Faustwert kann man annehmen, dass der osmotische Druck von 1gSalz/l etwa 0,75bar bei 25℃ beträgt.

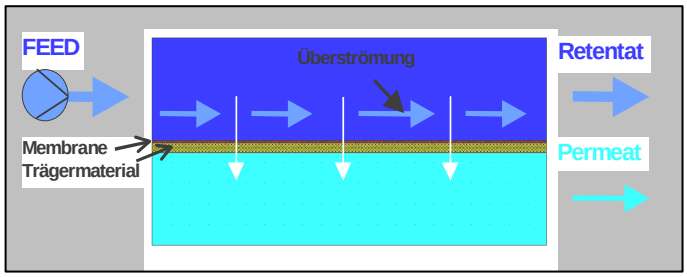
$$P = F \times (T+273) \times \Sigma(Mol)$$

P=osm.Druck
F=Faktor
T= Temperatur in ℃
Mol=Mol-Summe aller Ionen

## 2.4 PRINZIPELLE FUNKTIONSWEISE DER MEMBRANVERFAHREN

Man unterscheidet 4 Trenngrössen bei den Membranverfahren:

- Microfiltration: 0,2 – 4 µm
- Ultrafiltration 0,02 – 0,2 µm
- Nanofiltration: 0,002 – 0,02 µm
- Revers-Osmose < 0,002 µm




Allen Membranverfahren gemein ist, dass sie unter Druck mit einer Überströmung an der Membranoberfläche arbeiten. Ohne Überströmung würde sich aufgrund der extrem kleinen Porengrösse die Membranoberfläche sofort zusetzen => die Membrane würde verblocken!

***Wichtig ist also bei allen Membranverfahren, dass:***

***a) der benötigte Filtrations-Druck erzeugt wird.***

***b) die Überströmung gross genug ist, um ein Absetzen der zu filternden Teile auf der Membrane zu verhindern!***

Die Membranverfahren im Einzelnen:

**Microfiltration**

Microfiltrationsanlagen – auch Querstrom-Mikrofiltration genannt - werden ausschliesslich in industriellen Prozessen zur Abtrennung feiner Partikel eingesetzt; sie spielen in der Meerwasserentsalzung praktisch keine Rolle.

| | |
|---|---|
| Porenweite: | 0,05 – 4 µm |
| Membranmaterial: | PP, PVDF, Keramik |
| Modulaufbau: | Rohre, Hohlfasern |
| Arbeitsdruck: | < 2bar |
| Anwendung: | Abwasserreinigung, Bakterienabtrennung, Tonfiltration Vorfilter bei RO-Anlagen |

**Ultrafiltration**

Es gibt erste erfolgreiche Versuche, die Ultrafiltration als Vorreinigung vor grossen stationären Meerwasserentsalzungsanlagen einzusetzen.
Der relativ hohe apparative Aufwand wird durch die sodann geringere Membranbelastung der RO-Membranen sowie die entfallenden reinigungsintensiven Vorfilteranlagen wettgemacht.
Ansonsten finden UF-Anlagen eine breite Anwendung in der Industrie.

| | |
|---|---|
| Porenweite: | 0,01 – 0,1µm |
| Membranmaterial: | PSO, CA, PVDF, Keramik |
| Modulaufbau: | Rohre, Hohlfasern, Spiralwickelmodule, Rahmenmodule |
| Arbeitsdruck: | 1 – 10 bar |
| Anwendung: | Eisweistrennung, Polyzuckertrennung, Virenabtrennung, Öltrennung, Makromolekültrennung, Vorfilter bei RO-Anlagen |

**Nanofiltration**

Die Nanofiltration kann je nach Salzkonzentration bis zu 50% Salz zurückhalten, was aber für die Meerwasserensalzung entschieden zu wenig ist.
Nanofiltrationsanlagen sind daher ausschließlich in der Industrie im Einsatz.
Zur Begriffsklarstellung: die „Nanofiltration“ filtriert Teilchen im Nano-Bereich. Die „Nano-Membrane“ ist eine neue RO-Membrane die mit „Nanotunneln“ arbeitet.

| | |
|---|---|
| Porenweite: | 0,001 – 0,01µm |
| Membranmaterial: | CA, Dünn-Film-Technik |
| Modulaufbau: | Rohre, Spiralwickelmodule, Rahmenmodule |
| Arbeitsdruck: | 5 – 30 bar |
| Anwendung: | Zuckertrennung, Abtrennung mehrwertiger Ionen, Abtrennung organischer Moleküle |

**! Bitte verwechseln Sie die Nano-Filtration nicht mit der neuesten RO-Technologie bei der sog. Nano-Membranen zum Einsatz kommen!**

**Revers-Osmose (RO=**

Mit der Revers-Osmose, als heute wichtigstem Verfahren zur Meerwasserentsalzung, beschäftigen wir uns in den folgenden Kapiteln sehr ausführlich

| | |
|---|---|
| Porenweite: | <0,001µm* |
| Membranmaterial: | CA, Polysulfon, Polyamid, PTFE, Keramik / Dünn-Film-Technik |
| Modulaufbau: | Rohre, Spiralwickelmodule, Rahmenmodule |
| Arbeitsdruck: | 5 – 200 bar |
| Anwendung: | Meerwasserentsalzung Abtrennung von Ionen, Abtrennung organischer Moleküle |

*bisher konnten noch keine „Poren“ beobachtet werden!
Erst die neuesten sog. Nano-Membranen verfügen über „Nano-Tunel“

# 3. GRUNDLAGEN DER RO-SYSTEME ZUR MEERWASSERENTSALZUNG

## 3.1 EINFÜHRUNG

RO-Anlagen arbeiten nach dem Prinzip der Umkehrosmose mit einer Trenngrenze, die im Wasser gelöste Ionen zurückhält. Der genaue Mechanismus der Trennung ist bis heute noch nicht vollständig aufgeklärt! In den Anlagen wird das Meerwasser mittels einer Hochdruckpumpe kontinuierlich bei hohem Druck über die Membrane gepumpt (Feed). Hierbei trennt sich Wasser von Meerwasser, wobei diese Trennung nicht 100%ig ist; d.h. ein geringer Salzanteil passiert die Membrane und ist sodann im gereinigten Wasser (Permeat) enthalten. Die zur Meerwasserentsalzung eingesetzten Membranen haben einen Salzrückhalt (Rejection) von 99 – 99,8%! Das nun mit Salz angereicherte Meerwasser verlässt die Membrane als Konzentrat (Retentat). Ein Ventil kontrolliert normalerweise den Konzentratstrom und somit auch den Druck und die Permeatmenge. Es gibt auch Systeme, die mit sogenannten „positive Displacement Pumps“ mit Energierückgewinnung ausgestattet sind; hierbei stehen Feed, Retentat und Permeat in einem bestimmten Volumenverhältnis, so dass sich der Druck automatisch einstellt.

**Begriffsdefinition**

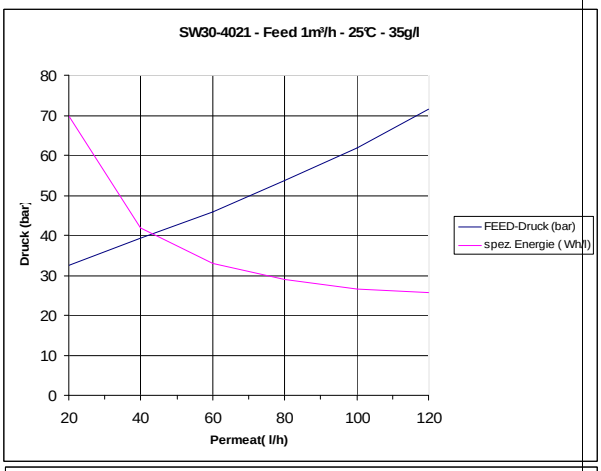
| engl. | deutsch | Einheit | |
|---|---|---|---|
| **CA** | Zellulose-Acetat | | Membranmaterial für Süss- und Brackwasser / nicht für Meerwasser geeignet |
| **Concentrat-Flow** | Konzentrat | l/h od. m³/d | Die Menge an aufkonzentriertem Meerwasser die die Membrane verlässt |
| **Feed-Flow** | Zufluss | l/h od. m³/d | Die Menge an Meerwasser die in die Membrane gepumpt wird |
| **Feed-Water-Salinity** | Salzgehalt des Rohwassers | ppm | Gibt den Salzgehalt im Meerwasser an |
| **Flux** | | l/m²*h | Menge Permeat pro m² Membranoberfläche |
| **Gallone** | Gallone | | Volumeneinheit 1US-Gal.=3,78l / 1 engl. Gal.=4,5l |
| **NDP** | NetDrivePressure | | Der Teil des Systemdrucks der nicht vom osmotischen Druck abhängig ist sondern nur zum Betrieb der Membrane notwendig ist |
| **osmotic Pressure** | osmotischer Druck | | Siehe Kapitel 3.1 / Posm. = F (T + 273) * S(mi) |
| **PAN** | Polyacrylnitril | | |
| **Passage** | | | Der Anteil an Salz der durch die Membrane hindurch geht |
| **Permeat** | Filtrat | | Der Wasseranteil der als gereingtes Wasser durch die Membrane geht |
| **ppm** | | mg/l | Konzentrationsangabe in der Chemie (PartsPerMillion) |
| **PSO** | Polysulphon | | Kunststoff für die Membranherstellung |
| **PVDF** | Polyvinylfluorid | | Sehr korrosionsbeständiger Kunsstof |
| **Recovery** | Ausbeute | % | Der Prozentsatz der als Permeat das System verlässt |
| **Rejection** | Rückhalt | | Der Anteil an Salz der durch die Membrane zurückgehalten wird |
| **Retentat** | Konzentrat | | Fachbegriff für das Konzentrat aus einer Membrananlage |
| **ß-factor** | Beta-Faktor | | Der Beta-Faktor gibt an wie stark sich die Salzkonzentration an der Trennschicht der Membrane anreichert |

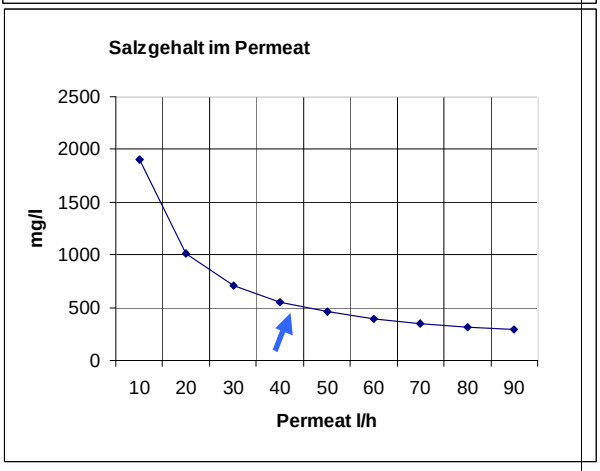
Wichtig ist auch die Unterscheidung zwischen „der Membrane“ und dem Membran-Modul! Ein Membranmodul wird oft als „Membrane“ bezeichnet ist aber ein Bauteil in dem die Membrane integriert ist. Mehr dazu im Kapitel über den Membranaufbau.

## 3.2 FAKTOREN, DIE DIE LEISTUNG EINER RO-ANLAGE BEEINFLUSSEN

Als Leistungsparameter einer RO-Anlage gelten:
a) die Permeatleistung, d.h. die Menge an Reinwasser, die sie pro Zeiteinheit produziert.
b) der Salzrückhalt, d.h. wieviel Salz von der Membrane zurückgehalten wird.
c) der spezifische Energieverbrauch. Dieser besagt wie viel Energie eine Anlage pro Menge an produziertem Reinwasser verbraucht.

Die Leistung einer RO-Anlage zur Meerwasserentsalzung wird von sehr vielen Faktoren beeinflusst.
Nachfolgend eine kleine Übersicht über die einfachsten Zusammenhänge:




**System-Druck**

Der System-Druck einer Anlage setzt sich vereinfacht aus dem NDP (Net-Drive-Pressure) der Membrane und dem osmotischen Druck des Rohwassers zusammen; Druckabfall durch die Überströmung der Membrane und Anstieg des osmotischen Drucks durch die in der Membrane stattfindende Aufsalzung müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Der osmotische Druck ist proportional zum Salzgehalt des Rohwassers; d.h. mit steigendem Salzgehalt steigt auch der osmotische Druck. Der NDP ist der „treibende" Druck der das Wasser durch die Membrane drückt was nichts anderes heißt als dass die Permeatleistung proportional mit dem NDP steigt! Mit steigendem Druck steigt also bei gleichbleibendem Salzgehalt, vor allem der NDP. D.h. mit steigendem Druck steigt die Permeatleistung überproportional! Da die Salz-Passage bei steigendem Druck gleich bleibt, sinkt der Salzgehalt des Permeats! Sehr wichtig ist auch der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Systemdruck: der Energieverbrauch steigt proportional zum Systemdruck; da aber mit dem Systemdruck die Permeatleistung überproportional steigt, bekommen wir bei energetisch gut ausgelegten Anlagen ein Minimum des spezifischen Energieverbrauchs (Wh/l Permeat)

**Permeatleistung und Temperatur**

Die Permeatleistung, wie auch die Salzpassage, steigt mit der Temperatur (theoretischer Wert: 3% Permeat/℃). In der Praxis werden nur Steigerungen von 1- 2% pro ℃ erreicht, da wir es b ei Meerwasser nicht mit einer „reinen" Lösung zu tun haben.

**Recovery (auch „Recovery-Rate)**

Recovery ist das Verhältnis von Permeat (Trinkwasser) zu Zufluß (Flow) in %.
Beispiel: Feed = 1000l/h, Permeat = 200l/h, ==> Recovery = 20%
Wird – wie oft in einfachen Anlagen üblich - die Recovery-Rate zu hoch gewählt, steigt die Aufsalzung in der Membrane stark an(➔ höherer osmotischer Druck = geringerer NDP). Gleichzeitig erhöht sich der Beta-Faktor aufgrund der mangelnden Überströmung, was dazu führt, dass der Permeatfluss stark sinkt und die Salzpassage steigt. Viele der marktgängigen „Watermaker" weisen einen geringen Energieverbrauch auf. Dieser wird aber durch eine hohe Recovery-Rate erkauft, was dann oft aufgrund der zu hohen Aufsalzung sowie der geringen Überströmung sogar zur irreparablen Schädigung der Membrane führt!

**Fouling**

Als Fouling bezeichnet man Prozesse an der Membrane, – meist Ablagerungen – welche die Leistung der Membrane reduzieren. Spiral-Module und Komposit-Membranen reagieren sehr empfindlich auf Feststoffe. Ursache hierfür ist einmal der „enge“ Feedkanal (= Spacer, diese haben eine Dicke von ca. 0,7mm), sowie die extrem dünne semipermeable Schicht (siehe Kap.6.1). Im Langzeitbetrieb tritt immer ein Fouling ein, d.h. im Laufe der Jahre reduziert sich die Leistung einer Membrane, so dass diese nach einer gewissen Betriebszeit ausgetauscht werden muss.

> Fouling ist fast immer progressiv! Es ist daher entscheidend beginnendes Fouling sofort zu erkennen und gegenzusteuern!
> Gegensteuern heißt: Beseitigung der Ursachen und Reinigung der Membrane.

***Eine richtig eingesetzte und gepflegte Membrane hält problemlos 5 Jahre und mehr!***

Die wohl häufigsten Ursachen von Fouling sind Ablagerungen auf der Mermbranoberfläche – aber auch chemische Reaktionen mit der Membrane oder chemisch-physikalische Reaktionen, die zu zum Teil irreversiblem Fouling führen. Der Fouling-Prozess verläuft fast immer progressiv! Es ist daher sehr wichtig beginnendes Fouling sofort zu behandeln!

Man unterscheidet grundsätzlich 2 Arten von Fouling: Ablagerungen aus organischen oder anorganischen Stoffen und Ablagerung durch bakterielle Aktivitäten auf der Membranoberfläche ( => Biofilm).

Sehr wichtig ist eine sehr gute Vorfiltration (<<10=µm!), um feinste Schwebstoffe und kolloidal gelöste Partikel zurückzuhalten. Auch Stoffe, die zwar gelöst sind, dann aber erst durch die Aufkonzentration innerhalb der Membrane ausfallen (besonders bei hohem Beta-Faktor und hoher Recovery-Rate), führen zu Fouling. Unbeachtet bleibt meist, dass Anlagen, die nicht aus hochwertigen Komponenten (High-Tech-Kunsstoffen und /oder Edelstahl (min V4A, ASI316, 1.4571!)) hergestellt sind, eine Fouling-Ursache in Form von Metallkorrosion bereits in sich tragen (z.B. bei Bronze- oder Ms-Pumpen)! Hierbei kommt es zu einer langsam schleichenden Ablagerung von Metalloxiden oder anderen Metallverbindungen(Silikaten) auf der semipermeablen Membranoberfläche! Bereits Spuren an Eisen-Ionen oder Aluminium-Ionen können hier, in Zusammenwirkung mit den meist in Spuren vorhandenen Silikaten, zu einem schleichenden Verblocken der Membrane führen. Gemäss Angaben der Membranhersteller sollte der Grenzwert für Aluminium < 0,05mg/l (!) im Feed sein; das ist weniger als nichts!

RO-Anlagen sollten – wenn sie nicht speziell dafür ausgerüstet sind – nur im äußersten Notfall in Ufernähe, in der Nähe von Einleitungen, Flüssen, Abwasserrohren etc. oder in Häfen betrieben werden. Gerade bei den, in RO-Kleinanlagen verwendeten Kartuschenfiltern – die dann noch mit einem hohen Durchsatz betrieben werden – ist die Kapazitätsgrenze derselben schnell erreicht. Und Kartuschenfilter sind im Vergleich zu industriellen Vorfiltern wirklich nur zur Vorreinigung von sauberem Meerwasser geeignet. Es ist daher sehr wichtig, dass diese nur mit absolut klarem Meerwasser betrieben werden!

Ein weiteres Fouling-Problem sind Bakterien, die sich gerne auf der Membrane mit ihrer grossen Oberfläche ansiedeln. Dies umso lieber, je geringer die Überströmung und je höher die Temperatur ist. Diese im Meerwasser praktisch immer enthaltenen Kleinstlebewesen bauen auf der Membranoberfläche einen sogenannten „Biofilm“ auf, der die Leistung der Membrane reduziert und die Bakterien gegen Biozide schützt. Im Extremfall kann es zu einem Herauspressen der Feed-Spacer (siehe Kap. 6.1) kommen, was die Zerstörung der Membrane bedeutet! Besonders bei Anlagenstillstand können sich diese Bakterien und somit auch der Biofilm schnell vermehren! Regelmäßiges Reinigen und Konservieren der Membrane bei längerem Anlagenstillstand ist daher für eine lange Lebensdauer der Membrane unabdingbar.

Ein weiteres Fouling-Problem stellt Faulgas ($H_2S$) dar. Da $H_2S$ ein Gas ist, kann es die semipermeable Schicht passieren und die Schwefelablagerungen können auch auf der Permeat-Seite der Membrane stattfinden. Diese Ablagerungen können dann, auch durch eine noch so gute Reinigung, nicht mehr beseitigt werden!

**Ein Wort zum sogenannten Salzrückhalt (Rejection):**

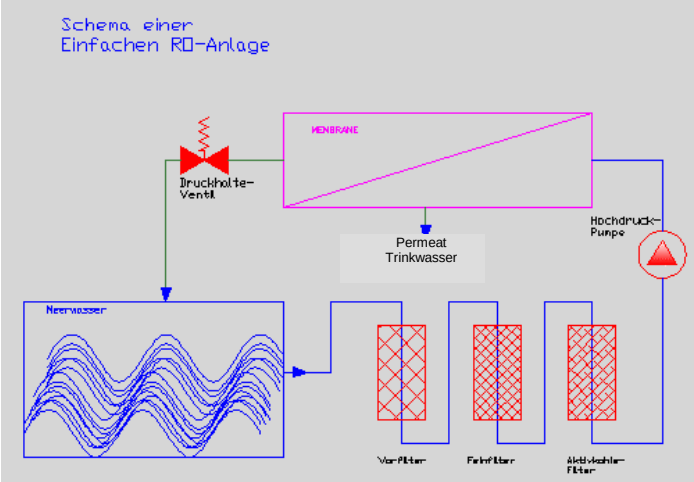
Die oftmals für die Membranen angegebenen Zahlen für den Salzrückhalt von über 99% gelten nur bei bestimmten Bedingungen die von kleinen Kompaktanlagen praktisch nie erreicht werden!

Prinzipiell ist die Salzmenge welche die Membrane passiert proportional zur Salzkonzentration auf der Feedseite und unabhängig von der Permeat- (Trinkwasser-)menge. Dies führt meist dazu,

dass Anlagen mit geringer Überströmung und grossen Membranen einen hohen Salzgehalt im Permeat (Trinkwasser) haben!
Auch die Temperatur beeinflusst den Salzrückhalt wesentlich. Hier gilt: je tiefer die Temperatur umso grösser der Salzrückhalt!
Ein 100%-iger Salzrückhalt ist übrigens bei der Trinkwassergewinnung nicht erwünscht, da sogenanntes „vollentsalztes Wasser“ ungesund ist und bei Genuss grösserer Mengen sogar zum Tod führen kann!

# 4. DIE RO-ANLAGE

## 4.1 EINFACHE RO-SYSTEME




Einfache RO-Systeme sind auch heute noch weit verbreitet.
Nebenstehendes Schema zeigt den Aufbau einer einfachen RO-Anlage bestehend aus Vorfiltern, Hochdruckpumpe, Membranmodul und Druckhalteventil. Das Meerwasser wird in dieser Anlage über die Vorfilter angesaugt und mittels der Hochdruckpumpe in die Membrane gedrückt. Ist am Ende der Membrane der erforderliche Druck (30 – 60bar) erreicht, öffnet das Druckhalteventil und das Retentat fließt wieder ins Meer zurück.
Diese Systeme arbeiten meist mit einer einfachen Kolben-Hochdruck-Pumpe, die sowohl die für die Membranüberströmung notwendige Meerwassermenge fördert, als auch den für die RO notwendigen Druck erzeugt.
Anlagen dieser Bauweise haben naturgemäß gravierende Nachteile:

**hoher Energieverbrauch**
Obwohl die Überströmung bei diesen Systemen niedrig gehalten wird, ist der spezifische Energieverbrauch für das erzeugte Trinkwasser hoch, da die gesamte Wassermenge für die Überströmung auf das hohe Druckniveau des Systems gebracht werden muss. Nach durchfließen der Membrane wird das Retentat abgelassen ohne die darin noch gespeicherte Energie zu nutzen.

**grosse Vorfilter**
Die gesamte Wassermenge für die Überströmung muss vorgereinigt werden, was zu relativ grossen Vorfiltern führt, die zudem schnell erschöpft sind und entsprechend häufig gereinigt bzw. gewechselt werden müssen.

**hohe Ausbeute (Recovery-Rate)**
Da die Überströmung bei diesen Systemen naturgemäss niedrig gehalten wird, ist das Verhältnis von Permeat/Feed relativ hoch, was zu den bereits erwähnten Nachteilen: hohe Aufsalzung, geringe Ausbeute, starke Belastung der Membrane führt.

**hoher Beta-Faktor**
Durch die geringe Überströmung kann sich eine relativ dicke Grenzschicht an der Membranoberfläche aufbauen, was zur deutlichen Leistungsminderung der Membrane führt. Desweiteren führt ein hoher Beta-Faktor automatisch auch zu einer hohen Salzkonzentration auf der Membranoberfläche (Grenzschicht) und damit auch zu höheren Salzgehalten im Permeat! Meist wird versucht die vorgenannten Nachteile durch größere Pumpen und / oder größere Membranen etwas wett zu machen; es bleibt aber immer ein Kompromiss zwischen Leistung, Energieverbrauch, Salzgehalt im Trinkwasser und den Anlagenkosten! Dass diese Anlagen trotzdem weit verbreitet sind liegt wohl weniger daran dass sie „so einfach“ aufgebaut sind, als viel mehr daran, dass die für diese Anlagen benötigten Teile als Industrieprodukte in grossen Mengen hergestellt werden und relativ einfach zu einem „Watermaker“ zusammengebaut werden können (siehe auch Kap. 8).

**Leistungsangaben einfacher RO-Systeme.**
Die Leistungsangaben einfacher RO-Anlagen beziehen sich meist auf einen Salzgehalt von 32.000 mg/l und eine Temperatur von 25℃. Hat die A nlage bei diesen Leistungsangaben schon die Leistungsgrenze erreicht, so wird sie bei 15℃ im Roten Meer weniger als 50% ihrer Leistung bei nach wie vor gleichem Energieverbrauch erbringen!

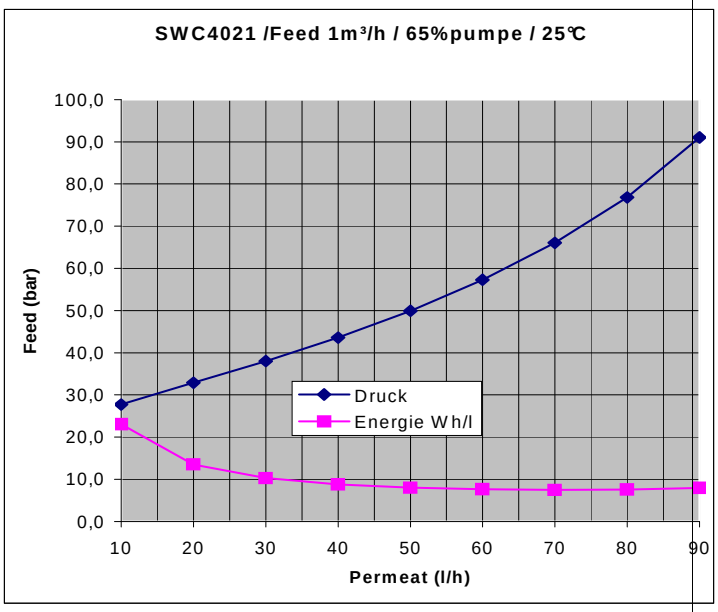
## 4.2 OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN AN EINFACHEN RO-SYSTEME

### Leistungssteigerung durch erhöhen des Systemdrucks

Der Systemdruck setzt sich - wie bereits in Kapitel 4 beschrieben - aus dem NDP (=NetDrivePressure) und dem osmotischen Druck der Lösung zusammen.

$$P_{ges.} = P_{osm.} + P_{net}$$

Für die Permeatleistung ist der NDP entscheidend, was bedeutet, dass durch Steigerung des Systemdrucks vor allem der NDP und somit der Permeatfluss überproportional erhöht wird. Gleichzeitig steigt zwar der Energieverbrauch, aber der permeatbezogene spezifische Energieverbrauch nimmt ab; ebenso sinkt der Salzgehalt im Permeat, da ja die Salz-Passage gleich bleibt, sich der Permetafluss aber erhöht!

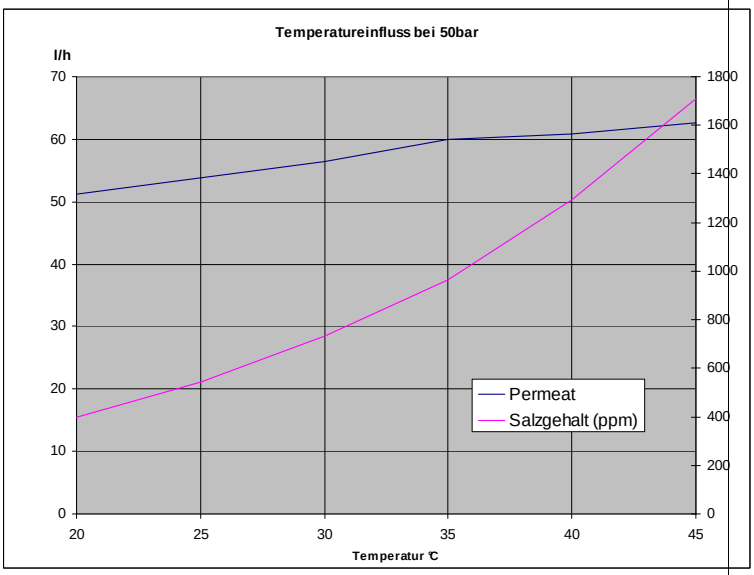



In nebenstehendem Diagramm ist deutlich die Leistungsteigerung von 15l/h auf 90l/h durch Druckerhöhung von 30 auf 90 bar zu sehen.

Eine Anlage sollte also aus energetischen Gründen an ihrer oberen Druckgrenze gefahren werden. Leider sind der Leistungssteigerung durch Druckerhöhung mechanische Grenzen gesetzt. Zum einen müssen die Anlagenteile (Pumpen, Druckrohr, Leitungen, Ventile etc.) dem Systemdruck standhalten. Zum anderen sind den Membranen enge Grenzen gesetzt, die zu irreparablen Membranschädigungen führen, wenn sie überschritten werden! Details hierzu finden Sie auf der weiter unten (Wagner-Index). Bei dem Beispiel in obigem Diagram wird die Membrane über 60bar bereits geschädigt! Grundsätzlich gilt, dass eine Anlage die an Ihrer Druck-Obergrenze gefahren wird den besten spezifischen Energieverbrauch (das beste Verhältnis von Energieverbrauch pro Liter Trinkwasser) hat!

### Leistungssteigerung durch Temperaturerhöhung

Wie bereits beschrieben, ist der osmotische Druck einer Lösung temperaturabhängig. Da die Diffusion durch die Membrane (=Permeatleistung) einer RO-Membrane mit der Temperatur deutlich zunimmt, kann durch Erwärmung des Rohwassers die Ausbeute einer Anlage etwas angehoben werden. Zum Erwärmen des Rohwassers wird hierbei meist die Abwärme des Pumpenmotors verwendet; auch die Rückkühlung des anfallenden Permeats und des anfallenden Retentats ist möglich! Obwohl die semipermeable Membrane selbst normalerweise auch bei Temperaturen weit über 80°C beständig ist, sind der Leistungssteigerung durch Temperaturerhöhung aufgrund des Membranaufbaus (Compositmaterialien!) deutliche Grenzen gesetzt. Es gibt allerdings Spezialmembranen, die auch noch bei 120°C eingesetzt werden können – diese kommen aber aus verschiedenen Gründen in der Meerwasserentsalzung nicht zum Einsatz!



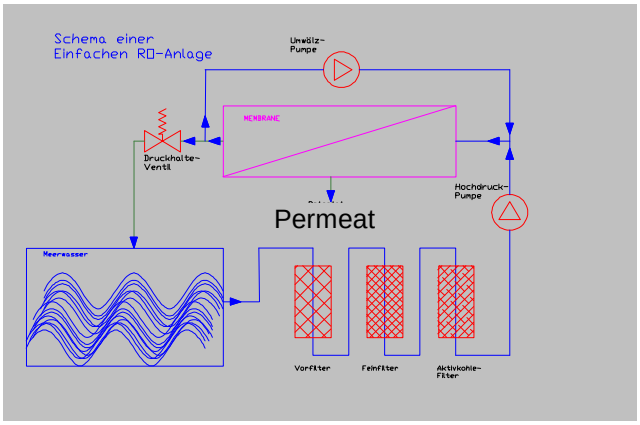
**Der WAGNER-Index**

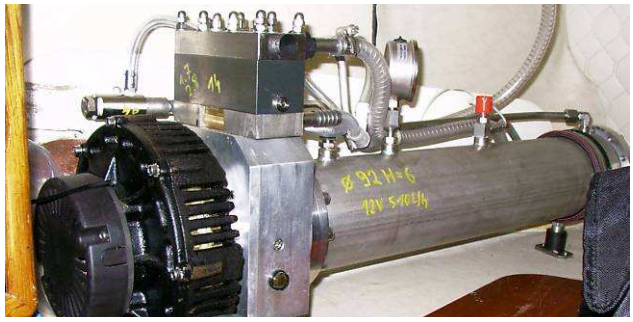
Die Grenzen einer modernen Compositmembrane durch Druck und Temperatur spiegelt sich im sogenannten **WAGNER-Index** wieder. Als Faustwert gilt, dass die Arbeitstemperatur der Membrane (in ℃) multipliziert mit dem Arbeitsdruck (in Bar) den Wert von 1200 bis max. 1500 (=Wagner-Index) nicht überschreiten sollte. In obigem Diagram wäre also die Einsatzgrenze bereits bei ca. 25℃ erreicht! Wird dieser Wert länger Zeit oder deutlich überschritten, kommt es zu einer irreversiblen Verdichtung der Membrane (Compaction), was deutliche Leistungsverluste zur Folge hat!

**Leistungssteigerung durch Umwälzung**

Durch Umwälzung des Rohwassers kann die Überströmung der Membrane deutlich erhöht werden. Dadurch wird das Konzentrationsgefälle über die gesamte Membranlänge reduziert, die Diffusionsgrenzschicht (Beta-Faktor) nimmt ab, die gesamte Membrane wird gleichmäßiger belastet! Die Umwälzung erfolgt normalerweise im geschlossenen Hochdruckkreis und benötigt daher nur wenig Energie! Die Aufkonzentrierung (Recovery) kann deutlich erhöht werden, ohne dass die Membrane leidet! Dies bedeutet auch, dass der Energieverbrauch durch geringere Feed-Leistung sinkt und die Vorfilter wesentlich entlastet werden!

Der Autor hat hier ein völlig neues Verfahren entwickelt, welches heute bereits in einer Serienanlage (drinKING der Fa. H2O-Factory) realisiert wird. Hierbei wir die Selbstreinigung der Membrane – die normalerweise durch die Überströmung erfolgt – wesentlich erhöht, so dass der Effekt einer Feedleistung von weit über 1.000l/h entspricht. Der Energieverbrauch sinkt hierbei auf Werte die normalerweise nur von Anlagen mit Energierückgewinnung erreicht werden!



Die 60l-Anlage des Autors in seiner 28“ LAURIN-KOSTER

**Leistungssteigerung durch Modifikation der Membranen**

Es gibt noch die theoretische Möglichkeit die Leistung einer RO-Anlage durch den Einsatz von Spezialmembranen zu steigern. Hier werden Membranen, die in ihrer Geometrie als Sonderanfertigungen gebaut werden eingesetzt (z.B. bei den PUR-Anlagen von Katadyn). In Kapitel 6.1 wird der Aufbau eines Membranmoduls näher beschrieben.

## 4.3 RO-SYSTEME MIT ENERGIERÜCKGEWINNUNG

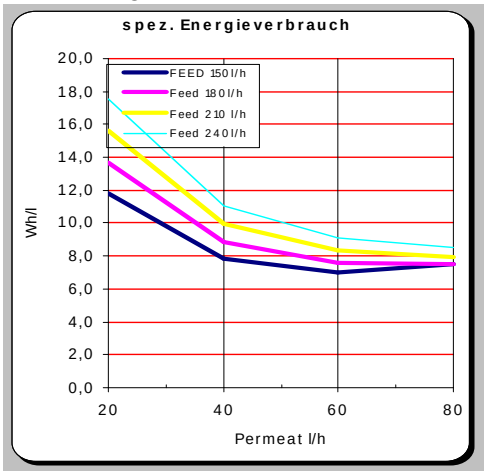
**Grundlage**

Der Energiebedarf einer RO-Anlage entsteht vor allem durch die zu Druckaufbau und Überströmung notwendige Pumpenleistung; der evtl. weitere Energiebedarf durch Steuerung und Messinstrumente kann gegenüber dem Energiebedarf der Hochdruckpumpe vernachlässigt werden. Theoretisch benötigen werden für den Druckaufbau 0,0278 Wh pro Liter und bar (0,0278 Wh/l x bar).

D.h. eine Anlage die 50l/h Permeat bei 40 bar erzeugt braucht theoretisch nur 55W Antriebsleistung – theoretisch! Hinzu kommt noch die Umwälzung, die bei einer normalen Recovery-Rate von 15% ca. 333l/h beträgt, was dann schon zu einem theoretischen Energiebedarf von 370 W führt. Wichtiger und aussagekräftiger als der Energiebedarf einer RO-Anlage ist **der spezifische Energiebedarf,** der sich als Energie-Wert auf die erzielte Permeatmenge bezieht (Einheit Wh/l od. kWh/m³). Es sind verschiedene Verfahren zur Reduktion des Energiebedarfs im Einsatz. Die theoretische Grundlage für die Energierückgewinnung finden Sie im Anhang 4.

**Energiereduktion durch Umwälzung**

Das im vorigen Kapitel beschriebene Verfahren der Leistungssteigerung durch Umwälzung ist die einfachste Möglichkeit den spezifischen Energiebedarf einer RO-Anlage zu reduzieren, da durch die Umwälzung, bei sonst gleicher Ausbeute (=Permeatleistung) die Zufuhr (Feed) wesentlich gesenkt werden kann, was wiederum zu einer deutlichen Reduktion des spezifischen Energiebedarfs führt! Wie nebenstehendes Diagram zeigt, kann bei einer Überströmung von 1000l/h der Energiebedarf durch Erhöhung der Ausbeute (=geringerer Feed) deutlich reduziert werden.




**Energierückgewinnung aus dem Retentat-Fluss**

Eine weitere Möglichkeit den Energiebedarf einer RO-Anlage zu reduzieren besteht in der Möglichkeit, die im Retentat enthaltene mechanische Energie wieder zu nutzen. Hierzu werden spezielle Pumpen verwendet, die das Retentat zum Pumpenantrieb mitnutzen. Bekannt ist z.B. ein Patent, bei dem die Hochdruckpumpe als Zahnradpumpe ausgelegt ist und das Retentat über einen zweiten Zahnradsatz als Antriebshilfe der Hochdruckpumpe wirkt; in der Praxis dürfte hier aber wohl eher eine ebenfalls patentierte „Wollhardt-Pumpe“ zum Einsatz kommen, da Zahnradpumpen für Meerwasser vollkommen ungeeignet sind. Bei Grossanlagen sind auch spezielle durch das Retentat angetriebene Turbinenräder als Antriebshilfe der Hochdruckpumpe möglich. Am häufigsten wird heute jedoch die Energierückgewinnung nach dem „rotating door“ Prinzip angewendet. Wen‘s interessiert: im Anhang 3 wird dieses Verfahren kurz beschrieben. Kleinere Anlagen sind meist mit Stufen-Kolbenpumpen ausgerüstet. Diese werden wir im nächsten Kapitel näher beschreiben.

## 4.4 KLEINE KOMPAKT-SYSTEME

RO-Kleinanlagen werden im Regelfall aus marktgängigen Industriekomponenten zusammengesetzt und stellen im Vergleich zu industriellen Anlagen meist nur Kompromisse sowohl bei den Verfahrensparametern als auch bei den Anlagenkomponenten dar. Bei diesen Anlagen werden der benötigte Druck und die erforderliche Fördermenge durch eine Pumpe erbracht, was zwangsweise zu hohem Energieverbrauch oder zu extrem geringer Überströmung der Membrane führt! Die Hersteller kleiner Kompakt-Anlagen selbst sind überschaubar und soweit bekannt in Anhang 5 aufgeführt. Neben den sehr einfachen mit einer Kolbenpumpe arbeitenden Systemen gibt es noch Systeme, welche das Prinzip der „Clark-Pump“ einsetzen (z.B. SPEKTRA USA, SLCE (vormals LIVIOL), SCHENKER) und natürlich die patentierte Pumpe der KATADYN-Anlagen.

Die einfachen Systeme mit Kolbenpumpe verwenden im Regelfall eine marktgängige 3-Kolbenpumpe mit angeflanschtem Norm-Motor. Diese Aggregate bringen natürlich einiges an Gewicht mit sich, da allein der Motor schon deutlich über 10 kg wiegt und auch die Baugrösse ist alles andere „kompakt“. Auch Pumpen, die über eine Riemenscheibe von einem Gleichstrommotor oder einem Verbrennungsmotor angetrieben werden sind auf dem Markt. Eine Besonderheit sind die Axialkolbenpumpen der Fa. DANFOSS. Diese sollen bis zu 8000 Stunden ohne Wartung auskommen – einerseits! Andererseits schreibt aber die Bedienungsanleitung das Auswechseln der Gleitringdichtung nach 4.000 Std. vor und nach 8.000 Std. sollte das komplette Innenleben der Pumpe mitsamt Kolben gewechselt werden!

Es ist ein Hersteller bekannt (www.hpwatermaker.it), der seinen Motor zur Leistungssteigerung mit dem Feed kühlt. Ob die im Prospekt angegebenen Leistungssteigerungen in der Praxis tatsächlich erbracht werden, habe ich nicht nachprüfen können – theoretisch sind sie jedenfalls nicht möglich!

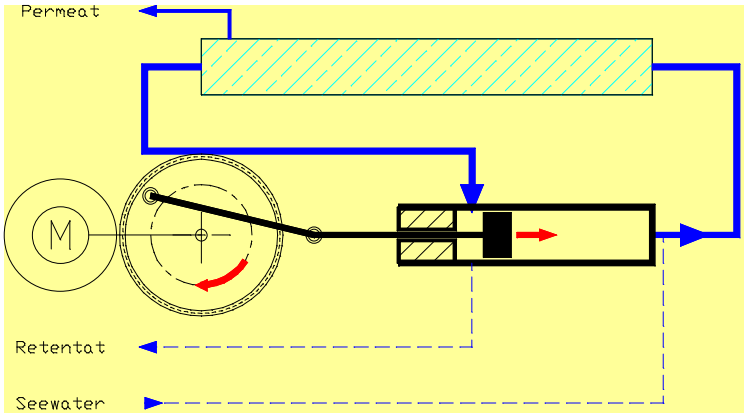
Alle Kleinanlagen haben im Vergleich zu Industrieanlagen eine geringe Überströmung der Membran und möglichst hohe Recovery-Raten um den Energieverbrauch und die Anlagenbaugrösse gering zu halten. Auf die Nachteile einer hohen Recovery-Rate (grosse Filter, geringe Membranüberströmung, grosser Beta-Faktor, etc.) sind wir bereits eingegangen. Uns ist – bei den Kompaktanlagen – überhaupt nur ein Hersteller bekannt, der bei grösseren Anlagen eine Rezirkulationspumpe als Option anbietet!

Desweiteren werden viele dieser Kleinanlagen als „Baukasten“ geliefert, so dass der Montageaufwand relativ gross ist. Vormontierte Anlagen zeichnen sich meist durch ihr grosses

Gewicht und die enorme Baugrösse aus. Bei der Auswahl eines „Watermakers“ sollte unbedingt darauf geachtet werden dass die Anlage über 1. genügend Überströmung und 2. über einen genügend starken Antriebsmotor verfügt. Im Anhang 6 finden Sie zum Thema Anlagenkauf einen Artikel aus dem TO-Vereinsmagazin.

Nachfolgend eine Beschreibung der beiden bekannten Kleinanlagen mit Energierückgewinnung:

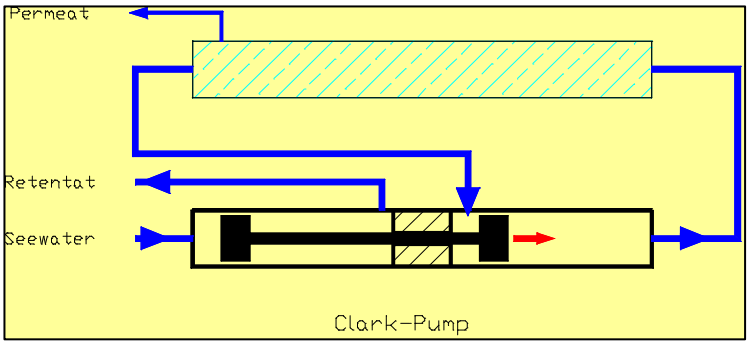
**PUR-Survivor** (Fa. KATADYN/CH)
Als patentiertes System ist hier die PUR-Water Anlage der Fa. KATADYN (www.katadyn.ch) bei den Kleinanlagen zu nennen, die über ein spezielles druckgesteuertes Umschaltventil verfügt.
Auch einen Handantrieb für die kleineren Anlagen und eine kleine nur manuell betriebene Anlage für den Notfall hat KATADYN im Programm.
Entwickelt wurde diese Anlage ehemals für das amerikanische Militär.




**Nachteile der PUR-Anlagen:**
- spezielle Membranen,
- der Systemdruck pulsiert stark,
- geringe Überströmung,
- grosser Durchfluss bei den Vorfiltern

**Vorteile:**
- geringer Energieverbrauch
- kompakte Bauweise
- Handbetrieb teilweise möglich
- Kleinste Anlagen auf dem Markt

**„CLARK-PUMP“**
Eine weitere Spezialität sind die Anlagen die nach dem System der sogenannten „CLARK-PUMP“ arbeiten. Die Anlagen der Fa. SPEKTRA, LIVIOL, SCHENKER etc. arbeiten nach diesem Prinzip. Die CLARK-PUMP verfügt über keinen eigenen Antrieb, sondern dient lediglich als Booster-Pump (Druckerhöhungsmodul), die den Druck eines externen Systems (ca. 5bar) auf den für die RO-Anlage notwendigen Druck (bis 50bar) erhöht.




**Nachteile dieses Systems:**
-spezielle Vordruckpumpe,
-der Systemdruck pulsiert stark,
-geringe Überströmung,
-grosser Durchfluss bei den Vorfiltern
-filigrane Steuer- und Umschaltventile

**Vorteile:**
- geringer Energieverbrauch

## 4.5 DIE OPTIMALE KOMPAKTANLAGE:

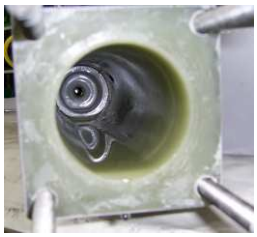
Von 2003 bis 2008 hat der Autor an der Entwicklung verschiedener optimierter RO-Kompaktanlagen gearbeitet. Bei den marktgängigen Anlagen werden die Verfahrensparameter durch die auf dem freien Markt erhältlichen Komponenten bestimmt (Ausnahme PUR-Survivor). Im Gegensatz hierzu wurden bei den nunmehr entwickelten Anlagen alle Komponenten auf die Erfordernisse des RO- Verfahren optimiert. Nachdem die erste Versuchsanlage lief, wurden alle weiteren Anlagen so aufgebaut, dass alle Komponenten in einem kompakten Gehäuse untergebracht werden konnten. Viele Details dieser Entwicklung sind zum Patent angemeldet!

**Anlage mit integrierter Selbstreinigung**

Nebenstehendes Bild zeigt eine 15l/h-Anlage mit einfacher Hochdruckpumpe und dichtungsloser kontinuierlich arbeitender Selbstreinigung. Die Selbstreinigung entspricht hierbei einer Membranüberströmung von 20l/min! In Versuchen wurden Recovery-Raten von 33% erreicht, ohne die Lebensdauer oder die Leistungsfähigkeit der kleinen Membrane zu beeinflussen. Der Energieverbrauch lag dabei deutlich unter 10Wh/l – ohne Energierückgewinnung!

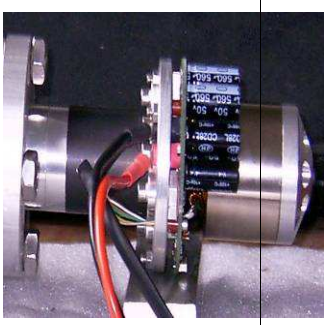
Einige Details des Prototyps:

- Das Gehäuse besteht komplett aus Kunststoff!
- Entsprechend wiegt die ganze Anlage nur 7kg
- die Anlage wird von einem „überdimensionierten“ 150W-Motor angetrieben.
- durch lösen von nur 4 Stehbolzen kann die Anlage zerlegt werden, entsprechend einfach ist der Membranwechsel.
- der Durchflussmesser für das Permeat konnte in das Gehäuse integriert werden.



**Grössere Kompaktanlagen mit Energierückgewinnung**

Ausser der kleinen Anlage mit integrierter Selbstreinigung wurden noch verschiedene grössere Anlagen mit und ohne Energierückgewinnung konstruiert. Dabei wurde es durch die integrierte Selbstreinigung möglich auch „grosse“ Membranen – d.h. nicht die üblichen 2,5“ Membranen sondern 4“ Membranen und in einzelnen Versuchen sogar 8“Membranen - einzusetzen. Hierzu muss man wissen das eine 4“ Membrane fast die 3fache Leistung einer gleichlangen 2,5“ Membrane hat! Die Energierückgewinnung selbst wurde durch ein einfaches Verfahren ohne komplizierte Servo- und Umschaltventile realisiert. Durch die verwendeten Antriebe und die niedere Drehzahl von ca. 600RPM laufen diese Anlagen sehr leise und verschleißarm!



Die Leistungswerte die mit solchen Anlagen erreicht werden können sprechen für sich:

| | |
|---|---|
| ***Grösse:*** | ***80 x 16 x 25 cm (LxBxH)*** |
| ***Gewicht:*** | ***18kg*** |
| ***Permeatleistung:*** | ***bis 68l/h*** |
| ***Energieverbrauch:*** | ***<= 4Wh/l*** |

# 5. DER RO-ANLAGEN-AUFBAU

In diesem Kapitel wird der Aufbau von RO-Meerwasserentsalzungsanlagen detailliert beschrieben; Schwerpunkt: Kleinanlage!
Alle hier gemachten Angaben gelten aber im Prinzip auch für Grossanlagen!

## 5.1 DIE RO-MEMBRANE

### Einleitung

Obwohl das Phänomen von Osmose und Umkehrosmose schon lange bekannt war, begann man erst in den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts mit der Entwicklung industrieller RO-Anlagen. Heute sind diese Anlagen nicht mehr aus der industriellen Fertigung -, insbesondere in der Pharma- und Lebensmittelindustrie, aber auch in der Chemie und natürlich bei der Meerwasserentsalzung - wegzudenken. Und obwohl der genaue Mechanismus der Diffusion durch eine semipermeable RO-Membrane noch immer nicht vollständig geklärt ist, können die Eigenschaften einer Membrane heute genau vorherbestimmt werden! Die Leistungsfähigkeit einer Membrane wird durch nachfolgende Formel näherungsweise beschrieben: **Q= A x D x P**
Wobei Q der Permeatfluss ist, A die aktive Membranfläche, D die Dicke der semipermeablen Schicht und P der NDP. Wie wir im nachfolgenden Kapitel sehen werden, ist in den heutigen Komposit-Membranen die Dicke (D) der semipermeablen Schicht extrem dünn (<<0,1µm!) was zu Permeatfluss-Raten von 25 – 35 l/m²*h (Liter pro Quadratmeter und Stunde) führt. Es gibt auch Membranen mit noch höherer Leistung – theoretisch zumindest – in der Praxis haben diese sich bisher noch nicht bewährt!

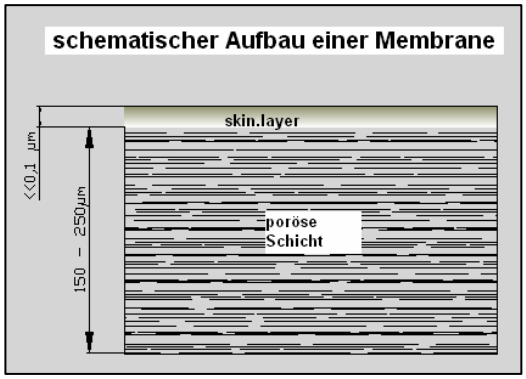
### Materialien

Als Materialien für die semipermeable Membrane sind eine Vielzahl verschiedener Stoffe im Einsatz. Neben dem wohl ältesten industriell genutzten Stoff Zellulose-Acetat werden heute Stoffe wie Polysulfon, Polyamid, Keramik, Polytetraflurethylen (Markenname TEFLON®) etc. als Membranmaterialien eingesetzt, wobei etwa 85% aller gebauten Membranen als Komposit-Module aus den ersten beiden Stoffen, Polysulfon und/oder Polyamid, gefertigt werden. Zellulose-Acetat (CA) ist auch heute noch, insbesondere wegen seiner spezifischen Eigenschaften (Chlor-Resistenz!) sowie des konkurrenzlos günstigen Preises, im Einsatz! Für die Meerwasserentsalzung kann Zellulose-Acetat leider nicht verwendet werden, da es durch die im Meerwasser enthaltenen Mikroben regelrecht „aufgefressen“ wird; hier kommen fast ausschließlich Spiral-Module aus Polysulfon oder Polyamid-Komposit-Membranen zum Einsatz. Der gravierendste Nachteil von Membranen aus Polysulfon oder Polyamid ist ihre Empfindlichkeit gegen starke Oxidationsmittel (z.B. Chlor >0,05mg/l im Leitungswasser!) sowie Kohlenwasserstoffe (Fette, Öle, Treibstoffe und Lösungsmittel). Schon Spuren dieser Stoffe führen zu einer irreparablen Schädigung der Membrane und müssen daher unter allen Umständen von der RO-Anlage fern gehalten werden.

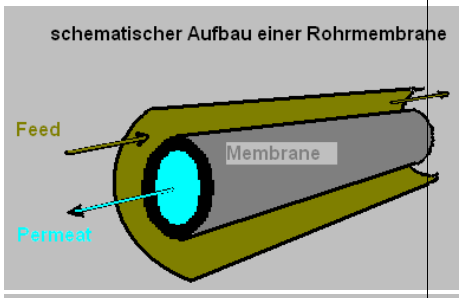
**Die heute gängigen Membranen zur Meerwasserentsalzung aus Polyamid und/oder Polysulfon werden durch geringste Spuren an Chlor sowie durch Fette, Öle, Treibstoffe und viele organische Lösemittel irreparabel geschädigt!**

### Aufbau

Die semipermeable Schicht einer modernen Membrane besteht aus einer weniger als 0,1µm (!) dicken, dem Meerwasser zugewandten, dichten Schicht mit einer theoretischen Porenweite < 0,001µm (dem sogenannten Skin-Layer) , die auf eine ca. 150 – 250µm dicken, porösen Stützschicht aufgebracht ist. Bis heute kann man die Poren im Skin-Layer nicht sichtbar machen, d.h. man weiß nicht, ob es diese Poren überhaupt gibt! Die Membrane selbst wird zu sogenannten Membran-Modulen verarbeitet. „Modul“ nennt man die Einheit, die sodann in einem entsprechenden Druckbehälter in der RO-Anlage zum Einsatz kommt. Im Modul werden neben den Membranen meistens noch Spacer (Dränagematten)

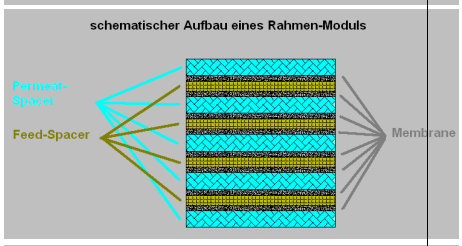


für den Feed (=> Feedkanäle) und für das Permeat (=>Permeat-Kanäle), sowie Zu- und Ablaufanschlüsse verbaut.
Es gibt 4 verschiedene Modul-Formen:



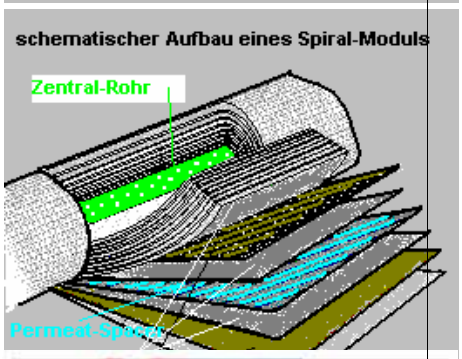

**Rohr-Module**

Die einfachste Form eines RO-Moduls ist die Rohr-Form. Hierbei wird die Membrane als Zylinder meist über ein Stützrohr gewickelt. Je nach Durchmesser werden diese Module als **Rohr- oder Spaghetti-Modul** bezeichnet. Die Module besitzen sehr wenig Membranoberfläche im Vergleich zu ihrer Baugrösse; auch das Todvolumen – und somit die benötigten Spülmengen – ist sehr gross! Anwendung finden diese Module fast ausschließlich in der Forschung und Entwicklung, da sie über genau definierte Strömungsverhältnisse verfügen.



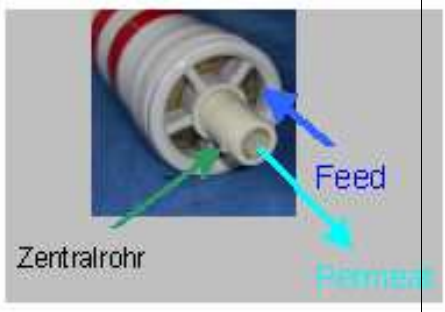

**Rahmen-Module**

Rahmenmodule sind schichtförmig aufgebaut und werden normalerweise in einen Rahmen gespannt, der die Abdichtung und die Zu- und Ableitung des Feeds als auch des Permeats übernimmt.
Eine Sonderform ist das ROCHEM- Modul das über ein Druckrohr verfügt.
Rahmenmodule zeichnen sich durch einen sehr kompakten Aufbau aus, sind meist jedoch sehr teuer. In Rahmenmodulen können (nicht beim ROCHEM-Modul!) die Membranen einzeln gewechselt werden. Anwendung finden diese vor allem in der Lebensmittelchemie; nur das ROCHEM-Modul kommt auf grösseren Schiffen zur Meerwasserentsalzung zum Einsatz.




**Spiral-Module**

Die in der Meerwasserentsalzung mit Abstand am häufigsten verwendeten Module sind die Spiral-Module (Spiral-Wound-Modul). In diesen Modulen sind die einzelnen Membranen spiralförmig um ein Zentralrohr gewickelt. Spacer (=Abstandshalter) zwischen den einzelnen Membranschichten sorgen für Kanäle, durch die Feed und Permeat fließen können. Der Feed tritt an einer Stirnseite eines solchen Moduls ein und an der gegenüberliegenden Stirnseite als Retentat wieder aus. Im perforierten Zentralrohr sammelt sich das Permeat. Diese Elemente zeichnen sich durch kompakte Bauweise (=grosse Membranoberfläche), günstige Herstellungskosten und einfachstes Handling aus.




**Hersteller und Grössen**

Obwohl es sehr viele Membranhersteller gibt, werden heute in der Meerwasserentsalzung fast ausschließlich die Membranen von DOW-Chemicals oder von AKZO zur Modulherstellung verwendet. Als Markennamen werden diese unter dem Namen FILMTEC, HYDRANAUTICS, SAEHAN-CSM oder OSMONICS vertrieben. Die Grössen, der für die Meerwasserentsalzung hergestellten Standard-Membranen, werden meist durch die Bezeichnung SW (für SeaWater) und eine 4stellige Zahl definiert, wobei die ersten beiden Zahlen den Durchmesser in 1/10 Zoll und die letzten beiden Zahlen die Gesamtlänge in Zoll angeben.

| Typ | Länge | Durch-messer | Membran-Fläche | max. Permeat-Leistung | Salz-Rejection |
|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | m² | l/h | % |
| SW30-2514 | 356 | 61 | 0,6 | 25 | 99,4 |
| SW30-2521 | 533 | 61 | 1,2 | 46 | 99,4 |
| SW30-2540 | 1016 | 61 | 2,8 | 108 | 99,4 |
| SW30-4021 | 533 | 99 | 3,1 | 125 | 99,4 |

Leider sind Membran-Module nicht 100%ig standardisiert, so dass der Austausch von Membran-Modulen verschiedener Hersteller manchmal problematisch ist.

**Einsatzgrenzen**

Wie bereits erwähnt, sind die verschiedenen Membranmaterialien für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet. Obwohl Membranen aus Zellulose-Acetat (CA) sich durch Beständigkeit gegen starke Oxidationsmittel sowie auch gegen bestimmte Kohlenwasserstoffe auszeichnen, sind sie für die Meerwasserentsalzung nicht geeignet. Die Schädigung der heute für die Meerwasserentsalzung verwendeten Membranen aus Polysulfon und/oder Polyamid, wurde bereits ausführlich behandelt.

**Komposit-Membranen aus Polysulfon und /oder Polyamid gelten heute als die Arbeitstiere der Meerwasserentsalzung!**

**Temperatur**

Zelluloseacetatmembranen arbeiten bis maximal 35℃. PVDF- Membranen können bis 85℃, Polysulfon-Membranen bis 120℃ problemlos arbeiten. Dies gilt nicht für die in der Meerwasserentsalzung verwendeten Spiral-Module mit Polysulfon-Membrane; diese Module arbeiten bis **max. 45℃** problemlos! In der Industrie sind auch „Hochtemperatur"-Membranen, die bei Temperaturen bis 120℃ arbeiten im Einsatz; hoher P reis und weitere, technische Einschränkungen machen diese aber für die Meerwasserentsalzung völlig uninteressant! Beachten sollte man unbedingt den Zusammenhang zwischen Temperatur und Druck (Wagner-Index)!

**Systemdruck**

Der Systemdruck ist die entscheidende Grösse für den Leistungsgrad einer RO-Anlage. Obwohl Membranen, die bei 200bar noch problemlos arbeiten in der Industrie Anwendung finden, ist die Limite für die in der Meerwasserentsalzung verwendeten Spiralmodule bei 50 – 55bar. Wie bereits erwähnt ist der zulässige Druck von der Temperatur abhängig **(„Wagner-Index")**, wobei folgender Zusammenhang gilt:

| **Druck (bar) x Temperatur (℃)** | | |
|---|---|---|
| | <1200 | optimale Bedingungen für Dauerbetrieb |
| | 1200 – 1500 | bei Dauerbetrieb Gefahr durch „Kompaktierung" |
| | >1500 | Gefahr durch Kompaktierung schon bei Kurzzeitbetrieb |

Obwohl die Zusammenhänge zwischen Wagner-Index und Membranschädigung bekannt sind, werden immer wieder RO-Anlagen mit Leistungsdaten angeboten, bei denen der Index deutlich überschritten wird! Dass diese Anlagen im Dauerbetrieb dann keine befriedigenden Leistungen mehr erbringen sollte nicht verwundern!

**„Kompaktierung": Das Zusammendrücken der Kompositmembrane führt zu einem Verdichten der Membranoberfläche mit der Folge, dass die Permeatleistung der Membrane abnimmt! Wird der Wagner-Index längere Zeit oder sehr stark überschritten, so ist die Kompaktierung irreversibel; d.h. die Membrane ist dauerhaft geschädigt!**

**pH-Wert**

„Der pH-Wert ist der negativ-dekadische Logarithmus der Wasserstoff-Ionen-Konzentration in g/l"

**=> nur**: welcher Nichtchemiker kann mit dieser Formulierung irgendetwas anfangen?

Also einfach: bei pH 7 ist eine Lösung neutral; wird der pH-Wert kleiner wird's sauer, wird der pH-Wert grösser wird's alkalisch. Und damit wir einige Vergleichswerte haben: unsere Haut hat etwa einen pH-Wert von 5,5. Stark kohlensäurehaltiges Mineralwasser kann einen pH-Wert von 5 haben und mit einer guten sauren Brause erreichen wir auch mal pH 4,5. Im Bereich pH 2,5 – pH 4,5 finden wir schwache Säuren (Zitronensäure, „Essig" etc.) und unterhalb kommen die starken Säuren. Aber Achtung: der pH-Wert ist auch abhängig von der Konzentration und der Gegenwart von „Puffer"-Salzen (z.B. Soda). Im alkalischen Bereich finden wir Soda-Wasser (pH 8 – pH 8,5), Kernseife, alkalische Reiniger (bis pH 12) und Waschpulver; starke Laugen (Kalilauge, Natronlauge etc. ) gehen bis pH 14! Soweit unsere stark vereinfachte „Abhandlung" zum Thema pH-Wert.

Der pH-Wert ist für unsere Betrachtung der RO-Anlagen nur wichtig für die Reinigung derselben; die normalerweise verwendeten Spiral-Module vertragen auf jeden Fall pH 2-12, bei tiefen Temperaturen sogar mehr. Bei höheren Temperaturen und sehr tiefem pH-Wert kann es zu irreversiblen Membranschäden kommen – aber diese Bedingungen werden in Meerwasserentsalzungsanlagen allerhöchstens bei unsachgemäßer Reinigung erreicht.

**Andere Parameter**

Obwohl die Membranmodule tiefe und hohe pH-Werte vertragen, muss unbedingt die Beständigkeit der Gesamtanlage beachtet werden! So wird in vielen Anlagen Aluminium Messing oder Bronze

verwendet, welches dann sowohl bei hohen als auch bei tiefen pH-Werten korrodiert! Ebenso ist darauf zu achten, dass Edelstahl – auch V4A – bei pH-Werten unterhalb von 4,5 – 5 und bei Anwesenheit von Chloriden (Chloride sind gelöste Ionen – bitte nicht verwechseln mit Chlor, welches ein Gas ist, dass aber auch im Wasser gelöst werden kann!), welche im Meerwasser in hoher Konzentration enthalten sind, bereits bei Raumtemperatur angegriffen wird!
Starke Oxidationsmittel: wie bereits erwähnt sind heutige Meerwasser-Membranen extrem empfindlich auf starke Oxidationsmittel (wie z.B. das oftmals im gechlorten Trinkwasser enthaltene Chlor - $Cl_2$!). Kohlenwasserstoffe: ebenfalls bereits erwähnt: verblocken die Membrane irreversibel!

**Nano-Membranen“**

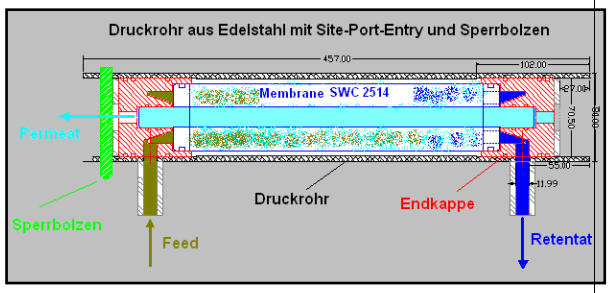
Bereits Ende des letzten Jahrtausends hat man erste Versuche unternommen die Nachteile der heutigen RO-Membranen (hoher NDP, Foulöing etc.) mit Hilfe der Nano-Technologie zu umgehen.
Dies hat an der UCA unter Prof. van Hoeck zur Entwicklung eines neuen Membranmaterials welches in gänigen Modulen verwendet werden kann geführt.
Diese neue Membrane verfügt über sog. „Nano-Tunel“, welche das Wasser regelrecht anziehen und passieren lassen sollen! Vorteil der neuen Membrane ist ein wesentlich reduzierter NDP-Wert (wodurch sich auch der Energieverbrauch einer Anlage wesentlich reduziert!) sowie eine wesentlich höhere Stabilität gegen Fouling!
Die Membranen sind seit Ende 2013 auf dem Markt!
**Ich rate aber Seglern die auf Weltreise gehen dringend noch 1 bis 2 Jahre der Erprobung in der Praxis abzuwarten bevor sie sich mit dieser Technologie auf die Weltmeere begeben!**

## 5.2 DAS DRUCKROHR DES SPIRAL-MODULS

Das Druckrohr dient zur Aufnahme des Membran-Moduls. Es muss den für den Betrieb der RO-Anlage notwendigen Systemdruck aushalten und Anschlüsse für Feed, Retentat und Permeat aufweisen.

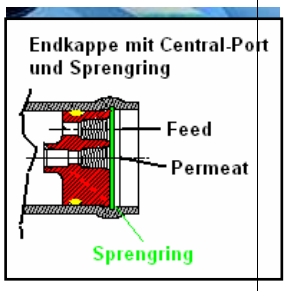
### Material

Als Materialien für RO-Druckrohre werden eigentlich nur Edelstahl (Werkstoff 1.4571 oder 1.4462) oder GFK (GlasFaser-verstärkter-Kunsstoff; meist Wickelrohre aus Glasfasern und Polyester, oder Epoxid) verwendet. Druckrohre aus Edelstahl sind zwar schwer und teuer, widerstehen aber Drücken bis 200bar und sind temperaturunempfindlich! Druckrohre aus GFK sind wesentlich preiswerter, werden im Regelfall aber nur bis 60bar eingesetzt.




### Aufbau

Druckrohre unterscheiden sich im Aufbau vor allem durch die Art des Feed- und Retentat –Eingangs. Es gibt sogenannte Side-Port-Entries, bei denen die Feed- und Retentat-Anschlüsse radial und Central-port-Entries, bei denen die Feed- und Retentat-Anschlüsse axial ausgeführt sind. Nebenstehend ein Druckrohr mit Central-Port-Entry der Fa. CodeLine. Die Endkappen sind bei den GFK-Druckrohren meist mit sogenannten Sprengringen gesichert; Edelstahldruckrohre gibt es mit Sprengring, Sperrbolzen oder Clamp-Verschlüssen. Ein immer wieder auftauchendes Problem der Druckrohre ist das „Festbacken“ der Endkappen; d.h. die Endkappen lassen sich nur noch mit Gewalt entfernen, wobei meist das Membranmodul mechanisch beschädigt wird.




Bei den vom Autor selbst gebauten Anlagen wurde das Membran-Modul in die Anlage integriert – ein separates Druckrohr entfällt – wodurch die Anlage einfach zu öffnen ist. Die Abdichtung der Membrane sowie der Endkappen erfolgt praktischerweise mit O-Ringen.

### Grössen

In der Meerwasserentsalzung sind praktisch nur 3 Durchmesser im Einsatz:
2,5inch ( = 62mm $D_i$), 4inch ( = 102mm $D_i$ ) und 8inch ( = 202mm $D_i$ ). Die Länge der Druckrohre richtet sich nach Grösse und Anzahl der verwendeten Membran-Module. In einem Druckrohr können

durchaus mehrere Membranen hintereinander in Reihe geschaltet werden – die Verbindung erfolgt mit einem kleinen Adapter für den Permeat-Anschluss. Es gibt Druckrohre mit mehreren Metern Länge! In der Lebensmittelindustrie und der Pharmazie sind noch weitere Membrandimensionen im Einsatz, die aber für die Meerwasserentsalzung keine Rolle spielen.

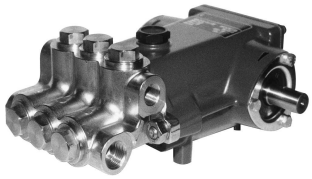
## 5.3 DIE RO-PUMPE

### Grundlage

In einer RO-Anlage wird ein hoher Druck (um den osmotischen Druck des Meerwassers zu überwinden und noch den NDP (=NetDrivePressure) aufzubauen) und eine bestimmte Fliessmenge zur Überströmung der Membrane benötigt. In grossen Anlagen werden hierzu meist zwei verschiedene Pumpen eingesetzt: eine Hochdruckpumpe, die eine geringe Fördermenge hat, aber den benötigten hohen Druck aufbauen kann und eine Rezirkulationspumpe, die nur einen geringen Druck aufbauen (0,5 – 2 bar), aber die für die Überströmung notwendige Fördermenge liefern kann.
Die Hochdruck-Pumpe ist das Herz einer RO-Kleinanlagen! Dieses stark belastete Bauteil muss für Druck und Flussmenge sorgen und dies oftmals 24 Stunden am Tag. Eine Störung der Pumpe heisst immer ein Totalausfall der RO-Anlage! Es ist daher sehr wichtig gerade bei der Pumpe auf Qualität zu achten. Anlagen mit Kolbenpumpen aus Messing oder Bronze – wie sie oftmals verwendet werden (billig, da sie in grossen Stückzahlen für Hochdruckreiniger gebaut werden) sind sicherlich nicht die beste Wahl!

### Hochdruckpumpen

Um den benötigten Hochdruck (bis 60bar) zu erzeugen stehen zwei verschiedene Pump-Verfahren zur Auswahl: Verdrängerpumpen und Kreiselpumpen.
**Verdrängerpumpen** fördern immer ein bestimmtes Volumen pro Zeiteinheit. Zu ihnen gehören die Kolbenpumpen, Membranpumpen, Drehschieberpumpen, Zahnradpumpen und die Eatonpumpen. Obwohl gerade Eatonpumpen und Zahnradpumpen in der Hydraulik oft zur Erzeugung höchster Drücke eingesetzt werden, sind sie für die Meerwasserentsalzung ungeeignet, da Meerwasser keinerlei Schmiereigenschaften besitzt und die Viskosität zu gering ist. Drehschieberpumpen werden ebenfalls in der Meerwasserentsalzung nicht eingesetzt, da diese den erforderlichen hohen Druck nicht erbringen; gleichwohl gibt es eine Patentanmeldung die gerade diesen Pumpentyp als Hochdruckpumpe einsetzt. Dasselbe gilt für Membranpumpen.



In RO-Kleinanlagen werden fast ausschließlich Kolbenpumpen eingesetzt. Obwohl diese Pumpen gravierende Nachteile haben (Pulsation, Hochdruckdichtung, Ventile etc.), gibt es so gut wie keine Alternative dazu.
Bei Anlagen mit einfachen aus Messing oder Bronze gefertigten Kolbenpumpen, sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass diese auf der Meerwasserseite mindestens chem. Vernickelt sind. Reines Messing neigt im Meerwasser zur sogenannten „Aus-Zinkung“, was über kurz oder lang zum Ausfall der Pumpe führen wird!
Auch auf die Korrosions-Problematik zwischen allen Buntmetallen und Edelstahl sowie zwischen Aluminium (auch seewasserbeständigem Al!) und allen anderen Metallen im Meerwasser möchten wir hinweisen!

**Noch schlimmer als das mechanische Versagen der Pumpen aus Messing sind die Probleme die korrodierende Pumpen aus Messing, Bronze, Aluminium etc. durch Ablagerungen auf der Membrane aufwerfen.**

**Kreiselpumpen**

In grossen Anlagen werden fast ausschließlich Kreiselpumpen als Hochdruckpumpen eingesetzt. Diese Pumpen fördern praktisch pulsationsfrei nach ihrer spezifischen Kennlinie. Der erzeugte Druck ist hierbei umgekehrt proportional zum Förderstrom; d.h. je höher der Druck umso geringer die Fördermenge. Damit eine Kreiselpumpe den erforderlichen hohen Druck aufbauen kann arbeitet diese als mehrstufige Pumpe, d.h. es sind mehrere Pumpenräder hintereinander auf einer Antriebswelle angebracht. Diese Pumpen zeichnen sich durch einen sehr hohen Wirkungsgrad aus! Es gibt auch einstufige Kreiselpumpen die den hohen Druck durch hohe Drehzahlen (bis zu 70.000 U/min!) erzeugen. Leider sind diese Pumpen erst ab Leistungen von mehreren m³/Std. auf dem Markt, so dass sie in Kleinanlagen nicht zum Einsatz kommen.

**Rezirkulations- oder Umwälzpumpen**

Obwohl fast keine kleine RO-Anlage eine Rezirkulationspumpe hat, sind diese Pumpen für den optimalen Betrieb einer kleinen RO-Anlage optimal, da sie auch bei kleinem (energiesparenden) Feed für die Überströmung sorgen können, die für den Betrieb und die Lebensdauer einer Membrane so entscheidend ist. Als Rezirkulationspumpen kommen einstufige Kreiselpumpen zum Einsatz, welche die erforderliche Fördermenge haben. Der Förderdruck ist hierbei je nach Modulaufbau und Modulgrösse eher gering ( 0,3 – 0,7bar / max. 1bar). Da die Rezirkulationspumpe den hohen Systemdruck aushalten muss, ist diese meist mit einem massiven Gehäuse aus Edelstahl versehen und damit sehr schwer (und teuer!). Die vom Autor entwickelten und als Prototyp gebauten Kleinanlagen besitzen alle eine integrierte Membran-Selbstreinigung, so dass auf eine separate Umwälzung verzichtet werden kann. Da bei diesen Anlagen auch alle Steuerventile und die Membrane in einem Gehäuse untergebracht sind, bauen diese extrem klein und zeichnen sich durch einfachste Wartung und Bedienung aus!

## 5.4 PUMPEN-ANTRIEBSMOTOREN

Noch ein Wort zu den Antriebsmotoren für die RO-Pumpen.
Hier sind sowohl Niederspannungsmotoren als auch Starkstrommotoren im Einsatz, die je nach Drehzahl direktgekoppelt oder mit einem Zahnriemenantrieb versehen sind. Der Vorteil der Niederspannungsmotoren, dass diese direkt aus einem Batterienetz betrieben werden können, erkauft man sich mit einem Nachteil: Gleichstrommotoren sind meist bürstenbehaftet und genau diese Bürsten sind Verschleißartikel! Obwohl moderne Bürsten bis zu 5.000 Stunden halten (Dauerbetrieb! bei intermittierendem Betrieb entsprechend weniger!), muss auf eine einfache Möglichkeit des Bürstenwechsels geachtet werden! Starkstrommotoren sind verschleißarm und bestens für die Anforderungen an einer RO-Pumpe geeignet. Werden jedoch die weit verbreiteten NORM-Motoren an Kompaktanlagen eingesetzt, so muss man deren Baugrösse, deren enormes Gewicht und deren schlechte Wirkungsgrad (bei Asynchronmotoren teilweise unter 65%) beachten. Für Kompaktanlagen haben sich kleine gekapselte 220V Motoren bestens bewährt, allerdings ist auch bei diesen der Wirkungsgrad schlechter als bei gut ausgelegten DC-Motoren!
Als neueste Entwicklung sind hier die bereits in Versuchsanlagen eingesetzten Scheibenläufermotoren und die innovativen Synchron - Außenläufermotoren mit einem Wirkungsgrad von bis zu 90% zu sehen. Es bleibt abzuwarten wie sich diese im täglichen Einsatz bewähren.

## 5.5 DIE VORFILTRATION

**Eine gute Vorfiltration des Rohwassers (Meerwasser) ist die Lebensversicherung der RO-Membrane!**

Feststoffspuren führen über kurz oder lang zum Ausfall der Anlage. Das bedeutet nicht nur, dass die Pumpen und Ventile durch die Feststoffe geschädigt werden, sondern das Hauptproblem ist die Membrane selbst! Die Feed-Kanäle in der Membrane, die durch die Feed-Spacer erzeugt werden, sind sehr eng; der Spacer selbst hat bei einer 30Mil-Standard-Membrane zur Meerwasserentsalzung nur 0,75mm Dicke! Als Vorfiltration werden bei kleinen Anlagen heute ausschließlich Filtergehäuse mit Filterpatronen verwendet. Wichtig ist hier, dass zuerst eine „Grobfiltration“ und nachgeschaltet eine „Feinfiltration“ (<10µm) erfolgt. Um auch suspendierte Stoffe sowie organische Verunreinigungen, wie Proteine, Algen und Bakterien (!) sowie Spuren an Ölen und Fetten (oftmals unsichtbar im Wasser emulgiert(!) herauszufiltern, sollte dem Feinfilter unbedingt ein gross dimensionierter Aktivkohlefilter nachgeschaltet werden. Ein Aktivkohlefilter ist auch für die Spüllösung der Membrane unbedingt empfehlenswert! Klar ist auch, dass die Filter auf die Feed-Mengen abgestimmt sein müssen. Hier zeigt sich wieder einmal der Nachteil von Anlagen ohne Rezirkulation: diese haben zwar nur eine geringe Überströmung, müssen aber auch die dafür notwendige Wassermenge vorfiltrieren!
Anlagen mit Rezirkulation besitzen eine meist 5 – 10mal grössere Überströmung, gleichzeitig aber einen wesentlich geringeren Feed und somit wesentlich geringer belastete Vorfilter!
Grosse Meerwasserentsalzungsanlagen verwenden heute übrigens Ultrafiltrationsanlagen als Vorfilter!
Kann man die Beladung von Grob- und Feinfilter noch durch den Druckverlust des Filters messen, so ist die Belegung des Aktivkohlefilters nicht messbar. Hier hilft nur der rechtzeitige Wechsel des Filters (im sauberen Meerwasser nach ca. 20 – 50 m³ Durchsatz bei einem 25cm Filter – bei Betrieb in Häfen oder unsauberem Wasser täglich!)

Eine Besonderheit stellen hierbei sog. Axial-Kolben-Pumpen dar (Danfoss). Für diese wassergeschmierten Pumpen schreibt der Hersteller eine Vorfiltration von <10µm **absolut** vor. Hierbei liegt das Problem in dem Wort ABSOLUT, denn eine 5µm-Filtration ist weit entfernt von einer 10µm absolut-Filtration, für die sehr teure Vorfilter benötigt werden! Obwohl diese Problematik bekannt ist, werden diese Pumpen immer wieder von Anlagenherstellern mit einer „normalen“ Vorfiltration eingesetzt.

## 5.6 HERSTELLER VON RO-KLEINANLAGEN

Eine kleine Aufstellung der dem Autor bekannten Hersteller kompakter RO-Kleinanlagen finden Sie im Anhang 5.

Da sich der Markt in diesem Bereich z.Zt. rasant ändert, zeigt diese Aufstellung nur einen Schnappschuss zum Zeitpunkt der letzen Aktualisierung.

# 6. DER BETRIEB VON RO-KOMPAKTANLAGEN

## 6.1 EINFÜHRUNG

Die heute auf dem Markt erhältlichen RO-Kompaktanlagen teilen sich in 2 Produktgruppen ein: Anlagen, die aus marktgängigen Bauteilen zusammengebaut werden und Anlagen, die als Sonderanfertigungen auf ihren Einsatz-Zweck zugeschnitten sind. Anlagen aus marktgängigen Bauteilen sind meist gross und schwer. Die Material-Problematik bei Anlagenbauteilen aus Buntmetallen haben wir schon im vorigen Kapitel abgehandelt.

## 6.2 DIE ANLAGENMONTAGE

Je nach Vormontagegrad einer Anlage muss diese nur an einem geeigneten Ort eingebaut werden oder sie muss aufwendig aus den Einzelteilen „zusammengeflickt" werden. Auf dem Markt sind sogar „Anlagenbausätze" erhältlich, die mit Hochdruckschläuchen und Anschlusstücken aus Plastik geliefert werden! Wenn diese Anlagen nach der Montage etwas „undicht" sind, darf dies nicht verwundern – eigentlich muss man eine Ausbildung zwischen Uhrmacher und Anlagentechniker absolviert haben, um diese Anlagen aufzubauen!
Für die genaue Montage muss die Anleitung des Anlagenlieferanten unbedingt beachtet werden; nachfolgende Ausführungen können nur allgemeine Hinweise liefern!

**Baukasten-Anlagen:**
Diese Anlagen werden normalerweise aus folgenden Komponenten zusammengebaut: Druckrohr mit Membrane, Hochdruckpumpe mit Motor, Vorfilter, vormontiertem Steuerblock mit Druckhalteventil, Umschaltventilen für die Reinigung, Manometer, Durchflussmesser für das Permeat, Montagematerial und Hochdruckleitungen.
Zunächst suchen wir einen geeigneten Montageort für die Vorfilter und die Hochdruckpumpe. Bei den Vorfiltern ist zu beachten, dass diese leicht zugänglich sein sollten und dass bei der Filterreinigung auch mal etwas Meerwasser anfällt; also möglichst einen Ablauf oder eine Auffangwanne vorsehen.
Der Montageort der Hochdruckpumpe sollte ebenfalls leicht zugänglich sein, aber trocken und möglichst mit 100 mbar Zulaufdruck (einige Hersteller schreiben sogar 500 mbar vor!), was nichts anderes heisst, als dass die Pumpe ca. 1 m unter der Wasserlinie montiert werden soll! Kolbenpumpen reagieren nämlich sehr empfindlich wenn sie keinen Vordruck haben; Leistungsschwäche und sogar Ausfall wegen Luftblasen (Kavitation) sind die Folgen!
Ist die Montage unterhalb der Wasserlinie nicht möglich, so muss unbedingt eine Zufuhrpumpe montiert werden. Als Zufuhrpumpe kommt hierbei jede beständige Pumpe mit einem Förderdruck von > 150mbar in Frage. Bewährt haben sich kleine Inlinekreiselpumpen ebenso wie teure Membranpumpen oder verschleissfreudige Impellerpumpen. Wichtig ist nur, dass die Förderpumpe für den Dauerlauf geeignet ist! Montiert wird die Förderpumpe möglichst vor Grob- und Feinfilter. Es empfiehlt sich noch ein kleines Sieb („Strainer") vor die Förderpumpe zu installieren. Bewährt hat es sich, die Hochdruckpumpen auf sogenannten SILENT-Blöcken möglichst weich zu lagern, um eine gewisse Körperschall-Dämmung zu erreichen. Die elektrische Zuleitung sollte natürlich trocken verlegt sein und über einen entsprechenden Schalter und die notwendige Absicherung verfügen.

| Motor-Strom A | Max.Strom A | Leitung mm² |
|---|---|---|
| 10 | 12 | 1,5 |
| 20 | 22 | 4 |
| 25 | 29 | 6 |
| 36 | 40 | 10 |
| 50 | 54 | 16 |

Gerade bei Niederspannungsmotoren (12 – 48V), die meist als permanenterregte Gleichstrommotoren ausgelegt sind, sollte der oftmals sehr hohe Einschaltstrom beachtet werden.
Bei einem 12V 250W-Motor sind dies schnell mal 60A! Da Schalter für eine Leistung über 10A oftmals sehr gross bauen und meist auch teuer sind, kann man als Schalter ein normales „Vorglührelais" aus dem Autozubehörhandel nehmen, welches dann mit einem normalen Schalter angefahren wird; u.U. erspart man sich damit auch die dicken Leitungsquerschnitte in der Schalttafel! Auch ist unbedingt abzuklären ob die Motoren „einschaltsicher" sind oder ob ein Widerstand vorzuschalten ist.

Ein ebenfalls sehr wichtiger Aspekt ist der „Verlust“ durch zu dünne Leitungsquerschnitte gerade bei 12V und 24V-Anlagen! Hierzu muss man sich überlegen dass ein “normalerweise“ unwichtiger Spannungsverlust durch die Hochstromleitung im Niederspannungsbereich sofort auch zu einem enormen Leistungsverlust einer Anlage führt! Führen Sie daher gerade die Hochstromleitungen zum Antriebsmotor immer mit einem grosszügigen Leitungsquerschnitt aus!

Bei Spannungen höher als 48V sollte die elektrische Montage von einem Fachmann vorgenommen werden!

Als nächstes suchen wir uns einen geeigneten Platz für das Druckrohr. Zu beachten ist hierbei, dass bei einem Membranwechsel genügend Platz vorhanden sein muss (bei 2540-Modulen über 2m!!!), um das lange Membranmodul in das Druckrohr einzuführen – ansonsten muss nämlich das Druckrohr demontiert werden! Ebenfalls beachten sollte man, dass beim Öffnen des Druckrohres Wasser austritt (Auffangwanne) und dass die mitgelieferten Leitungen lang genug sind!

So, jetzt muss nur noch die Bedienkonsole, die meist Manometer, Umschaltventile Druckhalteventil und Permeatdurchfluss-messer enthält, montiert und mit den Hochdruckleitungen verbunden werden und die Anlage ist einsatzbereit.

Tipp: Verlegen Sie die Permeatleitung so, dass sie im Trinkwassertank eintaucht und bauen Sie einen Aktivkohlefilter mit ein! Warum erfahren Sie in Kapitel 7.3.

**Die Permeatleitung sollte möglichst immer im freien Gefälle in den Trinkwassertank verlegt sein. Auf jeden Fall darf der Permeat-Druck niemals den Druck auf der Konzentratseite um mehr als 0,1 bar (=1m WS) überschreiten, da dies zur Zerstörung der semipermeablen Schicht führen kann!**

**Kompaktanlagen**

Kompaktanlagen sind entweder aus marktgängigen Einzelteilen in einem Rack oder Gehäuse vormontierte Anlagen, oder, wie z.B. die PUR-Water, komplett als Kompaktanlage gebaut.

Bei den aus marktgängigen Einzelteilen vormontierten Anlagen sollte unbedingt auf die einfache und leichte Zugänglichkeit zu den einzelnen Komponenten geachtet werden! Diese Anlagen sind meist gross und entsprechend schwer!

Kleine Kompaktanlage mit grosser Leistung (bis zu 15l/h!)
**AV2514L** LxBxH: 70x10x10cm!

Meist müssen noch ausser Zulauf, Konzentrat-(Retentat-) Ablauf und Permeatablauf, die Vorfilter und der Aktivkohlefilter für die Spüllösung montiert werden. Der Zulaufdruck sollte auch hier über 100mbar liegen und das Permeat im freien Fall auslaufen (siehe voriges Kapitel)

**Zulauf, Vorfilter und deren Problematik im Schiffsbetrieb:**

Noch ein Wort zur Problematik der „Entlüftung“ gerade auf Sportbooten.

Berufsschiffe haben zur Meerwasserentnahme meist einen Seekasten; dies ist auf unseren Sportbooten leider nicht möglich. Ist ein Boot dann noch schnell und mit geringem Tiefgang ist der Betrieb eines Watermakers meist nur noch begrenz möglich. Anlagenschäden, Minderleistung, Anlageausfall – Ursache sind meist kleine Luftblasen die mit der Bugwelle unter den Schiffsrumpf und somit in den Ansaugbereich des Watermakers kommen. Diese Luftbläschen führen an 2 Orten zu Problemen:

- in der Vordruckpumpe (meist eine Kreiselpumpe) führen Luftblasen zum Zusammenbruch der Förderleistung.
- in der Hochdruckpumpe werden die Luftblasen komprimiert, entspannen sich aber während des Ansaugtaktes wieder. Hierdurch wird die Förderleistung vermindert oder kommt komplett zum Erliegen – was bei längerer Laufzeit zur Schädigung der Hochdruckpumpe führen wird!

**Einfacher Vorentlüfter mit integrierter Vordruckpumpe**

Als Lösung dieses Problems sind verschiedene sog. Entlüfter auf dem Markt die je nach Aufbau bereits vor der Vordruckpumpe oder zwischen Vordruckpumpe und Hochdruckpumpe installiert werden.

## 6.3 DER ANLAGENBETRIEB

Eine korrekte Anlagenbedienung und Anlagenwartung ist elementar für die langfristig zufriedenstellende Performance des Systems!

**Das genaue Einhalten der Bedienungsanleitung des Anlagenherstellers ist unabdingbar! Achten Sie beim Anlagenkauf auf eine ausführliche und gut verständliche Dokumentation und kontrollieren Sie ob auch ein guter und qualifizierter „after-sales-service“ geboten wird!**

**Erstinbetriebnahme**

Nach Montage der Anlage kann die Inbetriebnahme erfolgen. Auch hier gilt, dass die Anleitung des Anlagenlieferanten unbedingt beachtet werden muss und nachfolgende Ausführungen nur als Anhaltspunkte dienen!

**Membran-Modul**

Zunächst muss das meist separat verpackt gelieferte RO-Modul montiert werden. Achten Sie unbedingt darauf, dass das Modul vermutlich konserviert ist; benutzen Sie also möglichst immer Schutzhandschuhe und ggf. eine Schutzbrille! Zur Montage des Moduls sowie der Endkappen kann es hilfreich sein, die Dichtungen und O-Ringe etwas zu schmieren. Montieren wird die Membrane immer zur Feed-Seite des Druckrohres, so dass der V-Ring des Membranmoduls zum Feed schließt.

**Es darf ausschliesslich Glyzerin zum Schmieren der O-Ringe verwendet werden! Fett oder Öl führen zur Schädigung der Membrane!**

**Entlüften und Vorspülen der Filter**

Nach Montage des Moduls öffnen Sie zunächst einmal den Meerwasserzulauf und entlüften die Vorfilter. Ist eine Vorpumpe montiert, können Sie diese einschalten und mit Hilfe der Pumpe zunächst die Vorfilter entlüften. Sollte die Möglichkeit bestehen, so spülen Sie die Zuleitung und die Vorfilter zunächst einmal mit 20 – 30l Meerwasser vor. Achten Sie darauf, dass alle Leitungen dicht sind und ziehen Sie ggf. alle Anschlüsse nochmals nach.

**Entlüften und Vorspülen der RO-Anlage**

Jetzt können Sie die RO-Anlage anschließen und ebenfalls entlüften. Hierzu öffnen Sie das evtl. vorhandene Spülventil, das Druckhalteventil und das Konzentratventil (Retentat-Ventil) vollständig und lassen so lang Wasser ausströmen, bis dieses blasenfrei ausläuft. Leiten Sie das Permeat (Trinkwasser) zunächst noch ab! Nun können Sie die Anlage starten. Prüfen Sie nochmals alle Aggregate und Leitungen auf Dichtheit. Schließen Sie nach 5 Minuten langsam das Druckhalte- und/oder Konzentratventil, bis sich ein Systemdruck von 5 – 10 Bar Druck aufgebaut hat. Lassen Sie die Anlage weitere 15 Minuten bei diesem Druck laufen, wobei das Permeat immer noch abgeleitet wird! Schließen Sie nun das Druckhalteventil und/oder Konzentratventil langsam, bis Sie den gewünschten Druck oder die gewünschte Permeatleistung erreicht haben. Der Druckanstieg sollte kleiner sein als 0,5bar/sek.! Prüfen Sie nochmals das gesamte System auf Dichtheit.

**Überschreiten Sie nie den erlaubten Systemdruck!**
**Vermeiden Sie jede starke Druckschwankung!**

Lassen Sie die Anlage nun für 1 – 2 Stunden laufen und kontrollieren Sie regelmäßig die Anlagenparameter und die Dichtheit der Anlage. Es ist normal, dass die Permeatleistung in den ersten Stunden nachlässt und die Anlage daher neu eingeregelt werden muss!

Nach 1 – 2 Stunden prüfen Sie die Permeatqualität (Aussehen, Geruch, Geschmack und Leitfähigkeit); ist diese in Ordnung, so können Sie nun das Permeat in den Trinkwassertank leiten.

**Sollte die gewünschte Permeatleistung nicht erreichen werden, so beachten Sie unbedingt die Temperatur des Rohwassers; ist diese zu tief, so kann die Anlage die vorgegebene Permeatleistung nicht erreichen!**

**Wiederinbetriebnahme**

Wurde die Anlage nur kurz abgeschaltet und nicht konserviert, so erfolgt die Wiederinbetriebnahme bei voll geöffnetem Druck- / Konzentratventil, welches sodann langsam, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, geschlossen wird. Das Permeat kann i.d.R. sofort verwendet werden.

**Wiederinbetriebnahme nach Konservierung, Membran- oder Filterwechsel.**

Nach einer längeren Stillegung mit Konservierung der Membrane leiten Sie das Permeat zunächst ab. Spülen Sie die Membrane bei voll geöffnetem Druck- oder Konzentratventil mit 2-5l Meerwasser

vor und nehmen Sie sodann die Anlage wie vor beschrieben in Betrieb. Nach 15 - 60 Minuten prüfen Sie die Permeatqualität (Aussehen, Geruch, Geschmack und Leitfähigkeit); ist diese in Ordnung, so können Sie nun das Permeat in den Trinkwassertank leiten. Beachten Sie bitte, dass das Spülwasser evtl. grössere Mengen an Biozid enthalten kann und deshalb eigentlich als Abwasser entsorgt werden muss!
Nach einem Filterwechsel gehen Sie wie unter Kap. ***Erstinbetriebnahme*** beschrieben vor. Danach starten Sie die Anlage normal auf.
Nach einem Membranwechsel gehen Sie wie unter Kapitel ***Entlüften der RO-Anlage*** beschrieben vor.

**Die Anlagenstillegung**

RO-Anlagen lieben den Dauerbetrieb! Entsprechend sollte die Einschaltdauer einer Anlage möglichst gross gewählt werden – lieber 3 Tage Dauerbetrieb als täglich nur 3 Stunden!
Zum Abschalten der Anlage sollte zunächst das Druckhalteventil voll geöffnet werden; erst dann erfolgt die Abschaltung von Hochdruck- und ggf. Zufuhrpumpe.
Wenn Sie Zeit haben und die Permeatleitung wie empfohlen im Trinkwassertank unter Niveau verlegt haben, warten Sie nun 15 – 30 Minuten! An der Membrane setzt jetzt nämlich Osmose ein(!) d.h. das Permeat fließt wieder rückwärts durch die semipermeable Membrane und führt somit eine Art Rückspülung durch! Danach Spülen Sie die gesamte Anlage mit 2 – 10l (Menge je nach Anlagengrösse und Aufbau) Permeat durch, welches Sie unbedingt durch einen Aktivkohlefilter leiten sollten. Die genaue Spülprozedur sowie die Spülwassermengen sind von Anlagentyp zu Anlagentyp so unterschiedlich und z.T. aufwendig, dass die Anleitung des Anlagenherstellers genau beachtet werden muss! Spülen Sie eine RO-Membrane auf jeden Fall nach jedem Anlagenbetrieb, da es sonst zu verstärktem Fouling kommt!

**Wird der Trinkwassertank auch ab und zu mit Leitungswasser (Chlor-haltig!) gefüllt, so darf dieses System auf gar keinen Fall angewendet werden, da durch Rücksaugen von gechlortem Trinkwasser die Membrane sofort zerstören würde!**
**Auch darf kein Absperrventil in die Permeatleitung eingebaut werden!**

**Notspülung**

Es gibt für einige Anlagen einfachste Spülsysteme die manuell betrieben werden können und daher auch bei Stromausfall oder Pumpendefekt noch funktionieren.

**Eine RO-Membrane sollte nach jedem Anlagenbetrieb gespült werden!**

**Anlagenkonservierung**

Wollen Sie die Anlage längere Zeit ausser Betrieb setzen (länger als 1 – 4 Tage; abhängig auch von der Temperatur), so muss die Membrane konserviert werden. Die Konservierung verhindert, dass sich Bakterien und Algen auf der Membrane vermehren und diese schädigen.
Konservierungsmittel sind Biozide!

Folgende Stoffe sind als Konservierungsmittel für Meerwassermembranen geeignet:
**Formaldehyd**: Formaldehyd wird als 0,1 – 1% Lösung eingesetzt und kann zur Kurzzeit- wie auch zur Langzeitkonservierung **gebrauchter (!)** Membranen verwendet werden. Obwohl Formaldehyd ein hervorragendes Biozid ist, wird es immer weniger eingesetzt, was mit seinen negativen Eigenschaften für den Menschen (Allergien, krebserregend) zu tun hat.
Nach Einsatz von Formaldehyd ist unbedingt auf ein gründliches Spülen der Anlage zu achten.
**Glutaraldehyd**: Glutaraldehyd wird als 0,1 – 1% Lösung eingesetzt und kann zur Kurzzeit wie auch zur Langzeitkonservierung **gebrauchter (!)** Membranen verwendet werden.
**Isothiazolin**: Isothiazolin ist unter dem Namen „KATON“ als 1,5%ige Lösung auf dem Markt. Es wird in Konzentrationen von 15 – 25 mg/l (1 – 1,7ml KATON/l) zur Kurzzeit wie auch zur Langzeitkonservierung verwendet.
**Wasserstoff-Peroxyd mit Peressigsäure:** Wasserstoff-Peroxyd oder eine Lösung aus Wasserstoff-Peroxyd in Peressigsäure kann als 0,2%ige Lösung zur Kurzzeitkonservierung von Membranen verwendet werden. Hierbei ist unbedingt darauf zu achten, dass die Temperatur nicht über 25℃

**Die meisten Biozide sind toxisch! Geeignete Schutzmassnahmen ergreifen (Gummi-Handschuhe, Schutzbrille, Atemschutz etc.).**
**Nicht in die Kanalisation oder in offene Gewässer ablassen!**

**Bevor Sie ein Biozid einsetzen, klären Sie mit dem Anlagelieferant ab, ob dieses evtl. Bauteile der Anlage schädigen kann!**

ansteigt und dass die Membrane nicht unter Eisen-Fouling leidet, da sie sonst irreversibel geschädigt werden kann!
**Natriumdisulfit:** Natriumdisulfit ($Na_2S_2O_5$ / E223) (w.W. Natriumbisulfit E222, Kaliumdisulfit E224) kann als 1%ige Lösung zur Langzeitkonservierung verwendet werden. Es muss darauf geachtet werden, dass das verwendete Natriumdisulfit Humanqualität hat!

Die Konservierung erfolgt nach dem Spülen mit Permeat, indem das Konservierungsmittel in die Anlage gepumpt wird. Ist die Anlage mit dem Konservierungsmittel gefüllt, so werden alle Ventile geschlossen. Achten Sie unbedingt darauf, dass das Konservierungsmittel nicht in den Trinkwassertank gelangt! Bei einer Langzeitkonservierung sollte das Konservierungsmittel alle 30 – 90Tage erneuert werden.

**Die Anlagenreinigung**

Nach längerem Anlagenbetrieb oder nach einem Anlagenbetrieb unter ungünstigen Bedingungen kann die Permeatleistung der Anlage sinken. Sinkt die Nominalleistung einer RO-Membrane um 10 – 15%, so sollte eine Reinigung durchgeführt werden! Beachten Sie bei der Beurteilung der Permeatleistung unbedingt die Rohwassertemperatur, da die Leistung stark von der Temperatur abhängig ist. Ob die Membran-Reinigung in der Anlage (=in-situ) erfolgen kann hängt weitestgehend vom Anlagenaufbau und den verwendeten Materialien ab. Kleinanlagen mit nur geringer Überströmung ( = keine Rezirkulationspumpe) sind zur in-situ-Reinigung eher ungeeignet. Trotzdem wird die Membranreinigung oftmals in diesen Anlagen durchgeführt, da eine externe Reinigungseinrichtung nicht vorhanden ist.

**Ist die Leistung bereits um 30 – 50% gesunken, so kann die Membrane bereits so stark geschädigt sein, dass die alte Nominalleistung nicht mehr hergestellt werden kann; ein Membranwechsel ist sodann zu empfehlen!**

Unbedingt beachtet werden muss, ob bei der in-situ-Reinigung die mediumberührten Anlagenteile gegen die Reinigungslösung beständig sind! Für eine effektive Anlagenreinigung sollten zur Verfügung stehen: Schutzausrüstung, Erste-Hilfe-Set (Augendusche!), geeignete Gefäße und Schläuche, ein Thermometer, evtl. ein pH-Meter und ein Leitfähigkeitsmessgerät. Nur, wer hat das schon alles dabei?
**Achten Sie aber immer und auf jeden Fall auf Ihre Gesundheit und die Ihrer Mitmenschen!**
Denn: **Viele Reinigungschemikalien sind aggressiv!**
Und: **Reinigungschemikalien müssen vorschriftsmäßig entsorgt werden!**

**Eine RO-Anlage unter idealen Bedingungen zu betreiben ist besser für die Anlage, besser für die Umwelt und besser für Ihre Gesundheit(!) als häufiges Reinigen!**

**Reinigungsmittel und -Chemikalien**

**Beachten Sie unbedingt die einschlägigen Vorschriften und Gesetzte sowie die vom Lieferanten gelieferten Merkblätter beim Umgang mit Chemikalien und Reinigungsmitteln!**

Je nach Art des Foulings stehen uns verschiedene Reinigungslösungen zur Verfügung:

| | |
|---|---|
| **Lösung:** | **01 schwach alkalischer Reiniger 1** |
| Inhaltsstoffe: | 2% Natriumtriphosphat ($Na_5P_3O_{10}$) mit 0,75% Na-EDTA. Beide Stoffe sind in Drogerien oder im Chemiekalienfachhandel erhältlich. |
| Herstellung: | Die Lösung wird durch einfaches Einrühren der beiden Pulver (20g $Na_5P_3O_1$ und 7,5g Na-EDTA pro Liter) in Permeat oder VE-Wasser hergestellt. |
| Anwendung: | Diese Lösung ist bestens geeignet um Kalzium-Sulfat („Gips“) von der Membrane zu entfernen. Auch leichte organische Verunreinigungen können mit dieser Lösung entfernt werden. |
| Anwendungstemperatur: | 40℃ |
| pH-Wert: | 10 |

| | |
|---|---|
| **Lösung:** | **02 schwach alkalischer Reiniger 2** |
| Inhaltsstoffe: | 2% Natriumtriphosphat ($Na_5P_3O_{10}$) mit 0,25% Na-DDBS (Natrium-DoDecylBenzenSulfat = eine waschaktive Substanz). Beide Stoffe sind in Drogerien oder im Chemiekalienfachhandel erhältlich. |

Herstellung: Die Lösung wird durch einfaches Einrühren der beiden Stoffe (20g $Na_5P_3O_1$ und 2,5g Na-DDBS pro Liter) in Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Anwendung: Diese Lösung ist bestens geeignet um auch stärkere organische Verunreinigungen von der Membrane zu entfernen.
Anwendungstemperatur: 40℃
pH-Wert: 10

**Lösung: 03 stark alkalischer Reiniger 1**
Inhaltsstoffe: 1% Natriumhydrosulfit ($Na_2S_2O_4$) „Natriumdithionit“
Natriumhydrosulfit ist im Chemiekalienfachhandel erhältlich.
Herstellung: Die Lösung wird durch einfaches Einrühren von 10g Natriumhydrosulfit in Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Anwendung: Diese Lösung ist geeignet um anorganische Rückstände (Kalk, Sulfate, Metall-Oxide) von der Membrane zu entfernen.
Anwendungstemperatur: 40℃
pH-Wert: 11,5

**Lösung: 04 stark alkalischer Reiniger 2**
Inhaltsstoffe: 0,1% Natriumhydroxid (NaOH) mit 0,025% Na-DDS (Natrium-DoDecylSulfat = eine waschaktive Substanz). Beide Stoffe sind in Drogerien oder im Chemiekalienfachhandel erhältlich.
Herstellung: Die Lösung wird durch einfaches Einrühren der beiden Stoffe (1g NaOH und 0,25g Na-DDS pro Liter) in Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Anwendung: Diese Lösung ist bestens geeignet um auch starke organische Verunreinigungen und Fette und Öle von der Membrane zu entfernen.
Eine sehr starke Reinigungslösung für organische Verunreinigungen!
Anwendungstemperatur: 35℃
pH-Wert: 11,5

**Lösung: 05 stark alkalischer Reiniger 3**
Inhaltsstoffe: 0,1% Natriumhydroxid (NaOH) „Natronlauge“
NaOH ist in Drogerien oder im Chemiekalienfachhandel erhältlich.
Herstellung: Die Lösung wird durch einfaches Einrühren des Pulvers (1g NaOH pro Liter) in Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Anwendung: Diese Lösung ist bestens geeignet um Silikat-Oligomere und -Polymere von der Membrane zu entfernen.
Eine sehr starke Reinigungslösung!
Anwendungstemperatur: 35℃
pH-Wert: 11,5

**Lösung: 06 schwach saurer Zitronensäure Reiniger**
Inhaltsstoffe: 2% Zitronensäure (Humanqualität!) . Wichtig ist, dass reine Zitronensäure verwendet wird; auf keinen Fall Zitronensäure zur „Entkalkung“ da diese schädliche Begleitstoffe enthält! Zitronensäure in Human-Qualität erhält man in jeder Apotheke oder Drogerie
Herstellung: Die Lösung wir durch einfaches Einrühren von 20g Zitronensäure in 1l Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Anwendung: Zitronensäure wird benutzt um anorganische Rückstände (Kalk, Sulfate, Metall-Oxide) zu entfernen. Wirkt leicht kompelexierend.
Anwendungstemperatur: 40℃
pH-Wert: 4

**Lösung: 07 stark saurer Reiniger**
Inhaltsstoffe: 0,5% Salzsäure (HCl!)
Salzsäure erhält man in Drogerien oder im Chemiekalienfachhandel in unterschiedlichen Konzentrationen.
Herstellung: Die Lösung wir durch einfaches Einrühren der Salzsäurelösung in Permeat oder VE-Wasser hergestellt.
Die Menge berechnet man wie folgt:

| | |
|---|---|
| | 500 geteilt durch Konzentration der Salzsäure (%) = g/l benötigte Salzsäure. |
| Anwendung: | Salzsäure ist eine sehr starke anorganische Säure! Sie wird benutzt um anorganische Rückstände (Kalk, Sulfate, Metall-Oxide) zu entfernen. **Salzsäure ist hochaggressiv und greift fast alle Metalle an!** |
| Anwendungstemperatur: | 25℃ |
| pH-Wert: | 2,5 |

**Der Reinigungsvorgang**

Wir beschreiben hier nur die In-Situ-Reinigung (Reinigung in der RO-Anlage ohne Ausbau der Membrane) da normalerweise keine separate Reinigungs-Anlage zur Verfügung steht. Der Reinigungsvorgang benötigt normalerweise eine Überströmung von mindestens 10l/min bei einer 2,5“-Membrane. Diese Überströmung wird bei fast keiner der heute erhältlichen Kleinanlagen ohne Rezirkulationspumpe erreicht; entsprechend schlecht sind dann auch meist die Reinigungsergebnisse! Ist die Art und die Stärke der Verunreinigung bekannt, so suchen wir uns aus obiger Liste die geeignete Reinigungslösung aus. In 99% aller Fälle dürfte jedoch die Art der Verunreinigung nicht bekannt sein, so dass wir eine alkalische und eine saure Reinigung durchführen müssen. Wichtig ist, dass zuerst alkalisch und dann erst sauer gereinigt wird! Die an Reinigungs- und Spüllösung benötigten Mengen sind von der Anlagenkonstruktion und der Membrangrösse abhängig und sollten der Bedienungsanleitung entnommen werden; normalerweise müssten aber 3 – 5l reichen. Die Reinigung erfolgt immer mitsamt den Vorfiltern aber ohne Aktivkohlefilter!

**<u>Nochmals</u>: Ob und welche der vorstehenden Reinigungslösungen für eine RO-Anlage geeignet sind MUSS der Anlagenhersteller bestimmen!**

**Reinigung:**

Zunächst wird die Anlage mit Permeat gespült. Sodann entfernt man die Aktivkohle-Kartusche – das Gehäuse kann verbleiben. Nun schliessen wir den Meerwasser-Zulauf sowie die Retentat- und die Permeatleitung an den Reinigungsbehälter an. Dies geschieht im Regelfall mit Schläuchen, da nur wenige Anlagen einen fest montierten Reinigungsbehälter haben. Der Reinigungsbehälter sollte oberhalb der RO-Anlage montiert sein, so dass das Gefälle ausreicht um die RO-Anlage zu fluten. Außerdem sollte der Reinigungsbehälter gross genug sein um evtl. entstehenden Schaum (besonders bei Lösung-Nr.4) sowie das folgende Spülwasser aufzunehmen. Sind alle Leitungen angeschlossen und dicht, so fluten wir die RO-Anlage mit voll geöffnetem Druckhalte- und/oder Konzentratventil mit Reinigungsflüssigkeit; das dabei aus der Retentatleitung austretende Spülwasser sowie evtl. die erste verschmutzte Reinigungslösung entsorgen wir. Nun starten wir die RO-Anlage (Retentat jetzt zurück in den Reinigungsbehälter!) und nach Entlüften der Anlage erhöhen wir den Druck auf 2 – max. 4 bar. Je nach Verschmutzungsgrad lassen wir die Anlage nun 1 – 8 Stunden im Kreislauf laufen. Soll eine 2te Reinigung folgen, so spülen wir die Anlage anschließend mit Permeat oder VE-Wasser und reinigen dann wie vor beschrieben mit der 2ten Reinigungslösung. Nach Beendigung der Spülung leeren wir die Vorfilter, ersetzen die Filterpatronen, montieren den Aktivkohlefilter, entlüften die Vorfilter und führen bei voll geöffnetem Druckhalteventil eine Membranspülung mit Meerwasser durch bis das austretende Retentat klar und frei von Schaum und Luftblasen ist. Nun können wir die Anlage wieder starten oder eine Spülung und ggf. Konservierung wie zum Anlagenstillstand durchführen.

Die Prozedur der Anlagen-Reinigung klingt sehr aufwendig und kompliziert => und ist es auch oft! Es sind aber auch Anlagen auf dem Markt bei denen eine Anlagenreinigung ein Kinderspiel ist! Und bedenken Sie: eine gepflegte Anlage wird maximal jährlich gereinigt und hat Ihnen bis dahin schon viele Tonnen Trinkwasser bereitet!

## 6.4 ZUSAMMENFASSUNG

Die auf dem Markt angebotenen kleinen RO-Anlagen zur Meerwasserentsalzung (Kleinanlagen bis max. 100l/h) teilen sich in 3 Typen auf:

**Einfache Anlagen**

Die Bezeichnung „einfach“ bezieht sich hierbei nicht auf Montage, Betrieb und Wartung, sondern auf die verwendeten Komponenten. Diese Anlagen sind die am meisten angebotenen, arbeiten mit einer

marktgängigen Hochdruck-Kolben-Pumpe und sind entweder als „Baukasten“ oder vormontiert erhältlich. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs sollten diese Anlagen nur dort eingesetzt werden wo Strom in ausreichender Menge zur Verfügung steht und die Stromkosten keine Rolle spielen. Die Lebensdauer der Membrane liegt bei diesen Anlagen eher im unteren Bereich, so dass man unbedingt auf eine einfache Möglichkeit des Wechsels achten sollte. Anlagen mit Kolbenpumpen brauchen normalerweise einen Zulauf im freien Gefälle (ca. 1m unterhalb des Wasserspiegels) oder eine kleine Vorpumpe um vernünftige Feed-Werte zu erreichen. Meist glänzen diese Anlagen durch Gewicht und Baugrösse. Von Anlagen mit Messing- oder Bronzepumpen und/oder -Armaturen ist, wegen der Korrosionsproblematik (Membranfouling!), abzuraten!

**Anlagen mit Druckerhöhungs-Modul (Booster-Pumpe)**

Auch diese Anlagen gibt es im Rack vormontiert oder als „Bastelkasten“ – sogar mit Kunststoff-Fittings und Plastikschlauch (!) im Hochdruckbereich. Diese Anlagen werden meist mit einer oder zwei externen Förderpumpen, die bis zu 6 bar Druck erzeugen müssen, betrieben. Sie zeichnen sich durch den niedrigsten bekannten spezifischen Energieverbrauch aus! Immer wieder sind Klagen über die Zuverlässigkeit der Booster-Pumpen zu hören, was mit den sehr filigranen und komplizierten Vorsteuer- und Steuerventilen im Pumpenblock zusammenhängt, die zum Ausfall der Pumpen führen.

**PUR-Water**

Eine Sonderstellung nehmen die patentierten PUR-Anlagen der Fa. Katadyn ein.
Diese Anlagen zeichnen sich durch einen geringen Energieverbrauch, ein unkompliziertes Umschaltventil und einen kompakten Aufbau aus und arbeiten über lange Zeit sehr zuverlässig.
Nachteil der PUR Anlagen sind die Membranen und natürlich wieder der relativ grosse Aufwand zur Wartung der Vorfilter.
Katadyn bietet - nach unserm Wissen als einziger Hersteller - eine ausschließlich handbetriebene Kleinstanlage, sowie eine Handnotbedienung auch für grössere Anlagen an – ein nicht zu unterschätzender Vorteil bei Strommangel oder Stromausfall!

**Anlagen mit interner Umwälzung**

Es ist nur ein Anbieter für Anlagen mit interner Umwälzung bekannt, wobei dieser die Anlagen konventionell im Rack aufbaut und die Umwälzung erst bei grösseren Anlagen als Option anbietet. Die vom Autor entwickelten und gebauten Anlagen besitzen ebenfalls eine interne Umwälzung. Alle Pumpen, Ventile, Regelarmaturen und die Membrane sind in diesen Anlagen in einem aus Kunststoff gefertigten Blockgehäuse untergebracht. Auch die Wartung der wenig belasteten Vorfilter, sowie der einfache Spülvorgang und die Möglichkeit der effektiven Membranreinigung in eingebautem Zustand sprechen für dieses System.

## Die Qualität des RO-Trinkwassers

Bei ordnungsgemäßem Betrieb einer RO-Anlage mit **„sauberem“** Meerwasser ist das gewonnene Trinkwasser physiologisch einwandfrei. Weder Bakterien, Protozonen noch Viren passieren die RO-Membran.

Es gibt nur wenige Stoffe die zu einer Trinkwasserverschmutzung führen (z.B. Glykole) und diese sind normalerweise im Meerwasser nicht enthalten.

Ein Wermutstropfen der Trinkwasserqualität ist der hohe Natrium- ($Na^+$) Gehalt.
Gerade Kleinanlagen arbeiten oft weit unter der Nennleistung der Membranen bei relativ niedrigen Drücken, was zu dem hohen Natrium- ($Na^+$) Gehalt führt.

Im Anhang 6 finden Sie einen bei TO veröffentlichen Artikel über die Auswahlhilfe beim Kauf eines „Watermakers“.

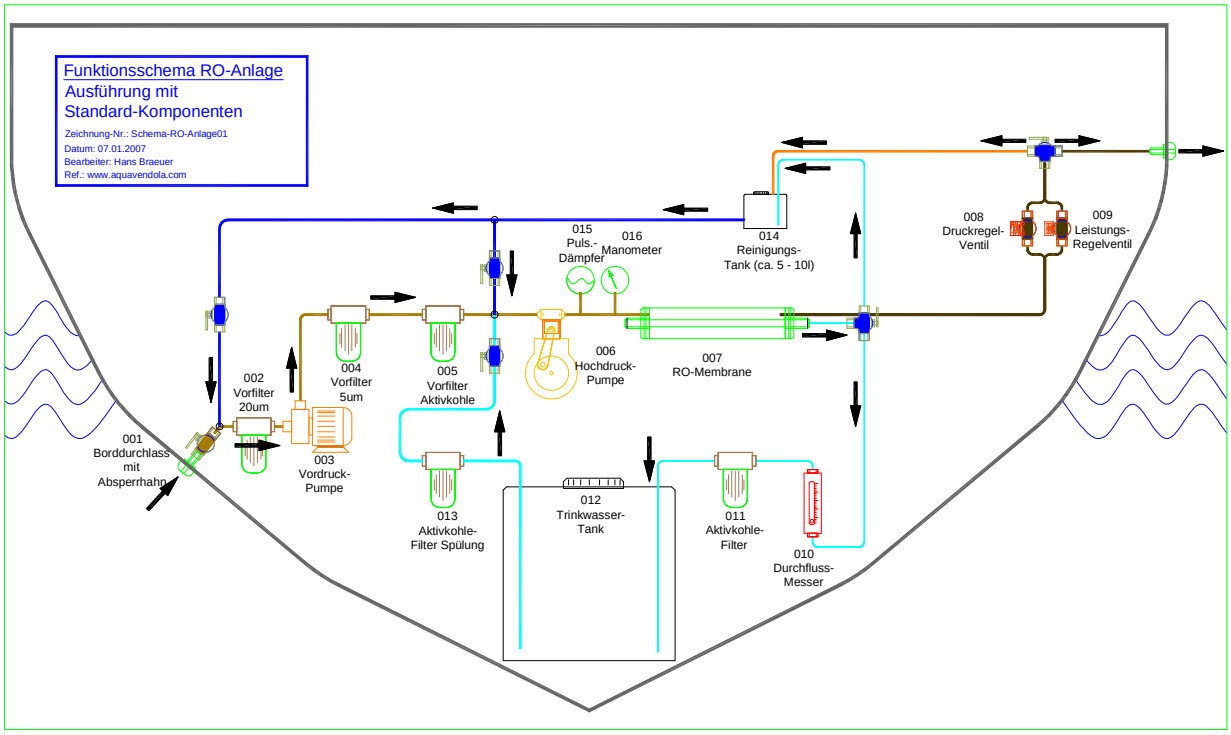
# 7. DER SELBSTBAU EINER EINFACHEN RO-ANLAGE

**Einführung**

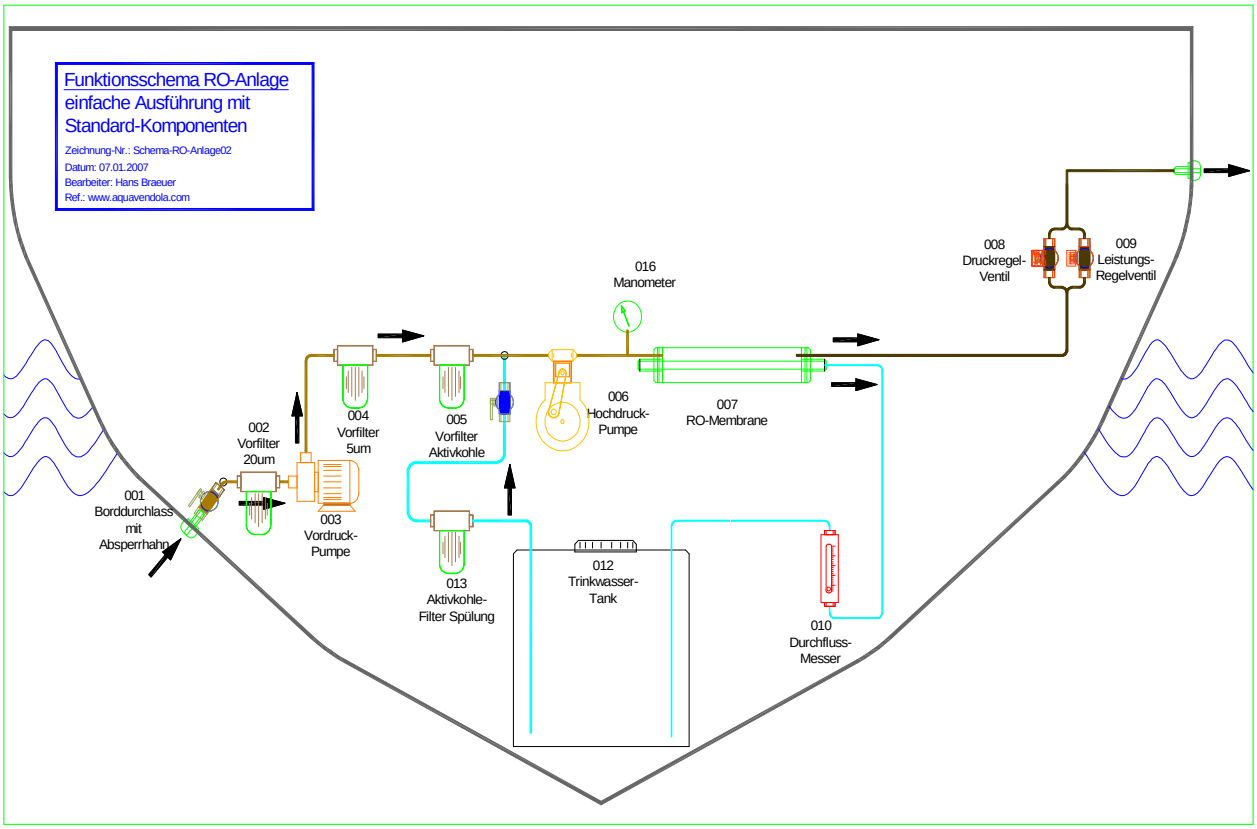
In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit dem Aufbau einer kleinen RO-Anlage, wie sie jeder technisch und handwerklich versierte Laie selbst bauen kann. Spezialwerkzeuge und Maschinen sind zum Aufbau nicht notwendig; eine Schlosserei oder eine mechanische Werkstätte sind aber, speziell für die evtl. notwendigen Konsolen zum Einbau der Anlage im Boot sowie für den Pumpenhalter empfehlenswert.

## 7.1 SCHEMA UND STÜCKLISTE

Untenstehendes Schema zeigt eine kleine RO-Anlage mit **allen** Komponenten die man als feste Installation montieren kann.




Die auf den ersten Blick sehr aufwendige Installation mit vielen Rohrleitungen, Behältern, Ventilen etc. vereinfacht sich wesentlich wenn wir die Reinigungs-Einrichtung - welche sowieso nur sehr selten gebraucht wird (eigentlich nie - bei sachgemäßem Betrieb und regelmäßiger Spülung) - fliegend gestalten und auch die Permeatleitung (Trinkwasser) als flexible Schlauchleitung ausführen. Nachfolgend ein Schema hierzu:




Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Komponenten für eine RO-Anlage mit einer SWC2540-membrane erfolgt in den nachstehenden Kapiteln.

# Stückliste

## zu Schema-RO-Anlage02 vom 07.01.2007

| Position | Bezeichnung | Beschreibung |
|---|---|---|
| 001 | Ventil | 1/2" Edelstahlventil |
| 002 | Vorfilter | Grobfilter 20um |
| 003 | Pumpe | Option: Vordruckpumpe |
| 004 | Vorfilter | Feinfilter 5um |
| 005 | Vorfilter | Aktivkohlefilter |
| 006 | Hochdruckpumpe | |
| 007 | Membrane | je nach Ausführung |
| 007 | Druckrohr | |
| 008 | Druckventil | Druckregelventil |
| 009 | Nadelventil | Mengenregelventil |
| 010 | Durchflussmesser | |
| 013 | Vorfilter | Aktivkohlefilter |
| 016 | Manometer | Hochdruckmanometer pulsationsgedämpft |

## 7.2 EINZELKOMPONENTEN

### Die Hochdruckpumpe

Die Hochdruckpumpe stellt das Herz der RO-Anlage dar. Auf dem Markt gibt es eine unüberschaubare Anzahl der verschiedensten Hochdruckpumpen. Obwohl rein theoretisch auch die Hochdruckpumpe eines Baumarkt-Hochdruckreinigers die benötigte Leistung erbringen würde, raten wir dringend zu Industrie-Pumpen - wenn möglich in Edelstahl- oder Titan-Ausführung!

**Beispiele geeigneter Hochdruckpumpen:**

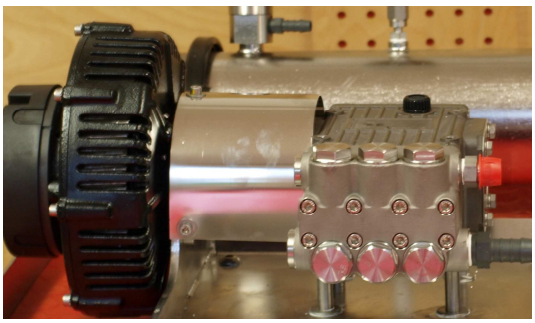
**CAT Hochdruckplungerpumpe Modell 247**

| | |
|---|---|
| Betriebsdruck: | 70 bar / max. 105bar |
| Fördermenge: | bis 11l/min bei 1400 U/min |
| Werkstoff: | produktberührt: V4A w.W. Nickel-Alu-Bronze* |
| Preise**: | ca. € 1.600,- in V4A |
| | ca. € 950,- in Ni-Al-Bronze |

Eine Alternative sind die etwas günstigeren Pumpen 3CP1131 (max. 7,5l bei 1420U) oder 3CP1121 (max. 13l bei 1420U)

**SPECK Hochdruckplungerpumpe Modell NP10-RE**

| | |
|---|---|
| Betriebsdruck: | 70 bar / max. 220bar |
| Fördermenge: | bis 15,9l/min bei 900 U/min |
| Werkstoff: | produktberührt: V4A |



SPECK NP10 mit angeflanschtem DC-Motor PMG132

**DANFOSS Axialkolbenpumpe Modell APP06**

| | |
|---|---|
| Betriebsdruck: | 80 bar / max. 100bar |
| Fördermenge: | bis 10l/min bei 3.000 U/min |
| Werkstoff: | produktberührt: V4A |

* NiAlBronze ist nach Herstellerangaben zwar ebenfalls für Meerwasser geeignet, in der Praxis kommt es aber insbesondere beim Intermetierenden Betrieb nach einigen Jahren immer wieder zur Lochkorrosion!
** Die Preise sind ca. Preise. CAT gewährt je nach Menge und Verhandlungsgeschick bis zu 45% Rabatt (z.B. 35% bei Abnahme von 5 Pumpen)

### Der Antriebsmotor:

Als Antrieb für obige Pumpe stehen verschiedene Motoren zur Verfügung. Wollen wir wirklich die volle Leistung der Membrane nutzen - was auch für die Membranlebensdauer nur gut ist - so sollten wir einen 1,1 kW **Starkstrom-Normmotor** wählen. Diese Motoren sind zwar schwer und haben einen relativ schlechten Wirkungsgrad, aber dafür sind sie günstig und haben eine extrem lange Lebensdauer. 230V Normmotoren finden Sie bei jedem Elektro-Großhändler. Wählen Sie einen Motor mit 1450 U/min so können Sie diesen mit einem Mitnehmer (gib es bei MÄDLER) direkt an die meisten Hochdruckpumpe koppeln.
***Spannschienen, Flansche und Anschlussteile gibt es - wie auch die Normmotoren – gibt's ebenfalls bei der MÄDLER.***
Als Alternative bieten sich die **Induktions-Motoren der Fa. Groschopp** an.

Diese Motoren sind relativ leicht - dafür aber auch etwas teurer. Ein Motor mit 1kW Aufnahmeleistung wäre z.B. der IGL100-100 mit 2600U/min. Hierzu müsste dann aber eine entsprechende Untersetzung montiert werden (Teile dazu=> MÄDLER).
Beachten Sie bitte, dass ein Synchron-Motor wesentlich wartungsärmer ist als jeder Niederspannungs-DC-Motor. Diese sind mit Bürsten behaftet und genau diese Bürsten sind Verschleißteile und müssen regelmäßig gewechselt werden! Und ein kleiner 1,5kW-Generator ist heute in fast jedem Boot dabei.
Im Niederspannungsbereich (12V DC und 24V DC) bieten sich Motoren der Fa **BONFIGLIOLI** an. So hat z.B. der Typ BC310-12V DC-2000U/min -800 bei einem Gewicht von 11kg eine Leistung von 800W.

Diese Motoren zeichnen sich durch hohe Zuverlässigkeit, geringes Gewicht und günstige Preise aus! Geeignet wäre z.B. der **PMG 080** mit folgenden Leistungsdaten:
12V DC: 78A - 3000U/min - 750W
24V DC 78A - 6500U/min - 1,6 kW Gewicht nur 3,4kg ca. € 300,-
Eine besonders elegante Antriebslösung wäre beispielsweise der PERM-Synchronmotor PMS100 mit elektronischer Drehzahl- und Leistungsregelung. Mit einem solchen Antrieb kann dann jede Antriebspumpe mit 24V DC und einer Leistung von 100- 1000W gefahren werden.

Für den Antrieb mit nicht direkt gekoppelten Motoren empfiehlt sich ein Zahnriemenantrieb. Alle Teile hierzu finden Sie kostengünstig bei der Fa. MÄDLER. Eine entsprechende Befestigungskonsole für Motor und Hochdruckpumpe fertigt Ihnen jeder Schlosser nach Zeichnung!
Die elektrischen Anschlüsse der Starkstrommotoren sollten Sie unbedingt einem Fachmann überlassen! Die 12V und 24V Niederspannungsanschlüsse können Sie theoretisch selbst machen, aber beachten Sie unbedingt die entsprechende Absicherung der Leitungen sowie ausreichende Kabelquerschnitte.
Niederspannungs-DC-Motoren müssen entweder mit einem entsprechenden Resistor angeschlossen werden oder in „einschaltsicherer“ Ausführung gekauft werden, da sie sich sonst beim Einschalten „entmagnetisieren“ können. Die hohen DC-Einschaltströme schalten Sie am besten über ein Hilfsrelais aus dem Kfz-Fachhandel („Vorglührelais“) oder einen Batterieschalter. Bewährt haben sich auch die Hochstromrelais der Fa. Layher (zu beziehen bei Philippi) oder ETA.

Viele Hersteller von Hochdruckpumpen bieten diese auch komplett mit angeflanschtem 230V oder 400V AC-Motor an. Bitte beachten Sie hierbei dass diese Kombinationen meist auf die Maximalleistung der Hochdruckpumpe ausgelegt sind und daher die Motoren für unsere Anwendung meist 2 Nummern zu gross dimensioniert sind!

## 7.3 RO-MEMBRANEN

Der theoretische Aufbau einer RO-Membrane sowie deren Arbeitsweise wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich behandelt.

### Tabelle der Leistungen einer SW30-2540 und einer SW30-2521 RO-Membrane

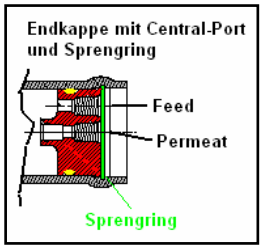
| Leistungsberechnung einer SW30-2540-Membrane bei konstantem Druck und 20°C Wassertempe ratur | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Salzgehalt | Feed-Druck | FEED | Permeat | Energie | spez Energie | | Recovery | Warnung des Membranherstellers |
| g/l | bar | l/h | l/h | W | Wh/l | mg/l | % | |
| | | | | | | | | |
| 32 | 50 | 100 | 37,0 | 480 | 13,00 | 500 | 37,0 | Recovery zu hoch (max 30%) & Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 32 | 50 | 200 | 49,6 | 650 | 13,20 | 340 | 24,8 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 32 | 50 | 300 | 56,4 | 830 | 14,70 | 283 | 18,8 | |
| 32 | 50 | 400 | 60,7 | 1000 | 16,50 | 254 | 15,2 | |
| 32 | 50 | 500 | 63,7 | 1180 | 18,20 | 236 | 12,7 | |
| 32 | 50 | 600 | 65,4 | 1350 | 20,46 | 223 | 10,9 | |
| | | | | | | | | |
| 36 | 50 | 100 | 31,2 | 480 | 15,40 | 614 | 31,2 | Recovery zu hoch (max 30%) & Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 36 | 50 | 200 | 41,8 | 650 | 15,70 | 427 | 20,9 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 36 | 50 | 300 | 47,6 | 830 | 17,40 | 359 | 15,9 | |
| 36 | 50 | 400 | 51,3 | 1000 | 19,50 | 323,5 | 12,8 | |
| 36 | 50 | 500 | 54,0 | 1180 | 21,80 | 301 | 10,8 | |
| 36 | 50 | 600 | 55,9 | 1350 | 24,12 | 285 | 9,3 | |
| | | | | | | | | |
| 42 | 50 | 100 | 23,4 | 480 | 20,60 | 861 | 23,4 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 42 | 50 | 200 | 31,1 | 650 | 21,00 | 614 | 15,6 | |
| 42 | 50 | 300 | 35,5 | 830 | 23,34 | 523 | 11,8 | |
| 42 | 50 | 400 | 38,3 | 1000 | 26,14 | 475 | 9,6 | |
| 42 | 50 | 500 | 40,4 | 1180 | 29,13 | 444 | 8,1 | |
| 42 | 50 | 600 | 41,9 | 1350 | 32,21 | 422 | 7,0 | |
| **Leistungsberechnung einer SW30-2521-Membrane bei konstantem Druck und 20°C Wassertempe ratur** | | | | | | | | |
| 32 | 50 | 50 | 18,5 | 240 | 13,00 | 500 | 37,0 | Recovery zu hoch (max 30%) & Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 32 | 50 | 100 | 24,8 | 325 | 13,20 | 340 | 24,8 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 32 | 50 | 150 | 28,2 | 415 | 14,70 | 283 | 18,8 | |
| 32 | 50 | 200 | 30,3 | 500 | 16,50 | 254 | 15,2 | |
| 32 | 50 | 250 | 31,9 | 590 | 18,20 | 236 | 12,7 | |
| 32 | 50 | 300 | 32,7 | 675 | 20,46 | 223 | 10,9 | |
| | | | | | | | | |
| 36 | 50 | 50 | 15,6 | 240 | 15,40 | 614 | 31,2 | Recovery zu hoch (max 30%) & Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 36 | 50 | 100 | 20,9 | 325 | 15,70 | 427 | 20,9 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 36 | 50 | 150 | 23,8 | 415 | 17,40 | 359 | 15,9 | |
| 36 | 50 | 200 | 25,7 | 500 | 19,50 | 323,5 | 12,8 | |
| 36 | 50 | 250 | 27,0 | 590 | 21,80 | 301 | 10,8 | |
| 36 | 50 | 300 | 28,0 | 675 | 24,12 | 285 | 9,3 | |
| | | | | | | | | |
| 42 | 50 | 50 | 11,7 | 240 | 20,60 | 861 | 23,4 | Retentat-Fluss zu gering (min.: 160l/h) |
| 42 | 50 | 100 | 15,6 | 325 | 21,00 | 614 | 15,6 | |
| 42 | 50 | 150 | 17,7 | 415 | 23,34 | 523 | 11,8 | |
| 42 | 50 | 200 | 19,2 | 500 | 26,14 | 475 | 9,6 | |
| 42 | 50 | 250 | 20,2 | 590 | 29,13 | 444 | 8,1 | |
| 42 | 50 | 300 | 20,9 | 675 | 32,21 | 422 | 7,0 | |

Wie wir aus obiger Tabelle entnehmen können, ist es bei Verwendung eines kleinen Antriebsmotors günstiger eine kleinere Anlage mit einer SW30-2521 zu bauen.

Versuchen wir mit einem 500W-Motor eine grosse Anlage mit einer SW30-2540-Membrane zu betreiben, so wird diese Anlage zwar bei niederen Salzgehalten des Meerwassers (z.B. im Pazifik) 37l/h produzieren, aber der Salzgehalt im Trinkwasser ist mit 500mg/l bereits an der Limite der US-

FDA. Außerdem werden die vom Hersteller gesetzten Grenzen, was Durchflussmenge und Aufkonzentration betrifft, bereits deutlich überschritten! Wird eine solche Anlage dann im Mittelmeer oder gar im Roten Meer - mit Salzgehalten bis zu 42g/l - betreiben, so bringt diese gerade noch 23l/h Trinkwasser und dies dann mit einem Salzgehalt von über 800mg/l! Hier ist es besser eine kleinere Membrane zu verwenden!
Mit der SW30-2521 würde diese Anlage dann 30l/h im Pazifik und immerhin 19l/h im Roten Meer produzieren - und dies ohne die Membran-Limiten zu überschreiten und mit wesentlich geringeren Salzgehalten im Trinkwasser!

Für die Meerwasserentsalzung stehen verschiedene Membranen zur Verfügung:
HYDRONAUTICS mit seinen SWC2-Membranen und FILMTEC mit seinen SW30-Membranen.
Wir empfehlen die FILMTEC-Membranen, da diese einen etwas höheren Salzrückhalt haben (99,4% zu 99,0%).
Als neuester Hersteller ist die koreanische Fa. SAEHAN Industries Inc. zu nennen, die ebenfalls sehr gute und preiswerte Membranen anbietet.
Membran-Druckrohre stellen die Fa. CODEline, wie auch die Fa. Knappe her.
Die Knappe-Druckrohre Typ 2521 und Typ 2540 werden zwar mit einem Arbeitsdruck von 42bar angegeben, halten aber problemlos den 50 - 55 bar unserer Anlage stand!
Die CODELINE-Druckrohre haben einen Arbeitsdruck von bis zu 68 bar.
Membranen und Druckrohre erhalten wir bei der Fa. CWG oder im Marinshop.
Eine SW30-2540 kostet ca. € 250,- eine SW30-2521 ca. € 170,-*.
Zu den Druckrohren immer gleich die passenden Membranadapter, Anschlussteile und die Rohrklemmen zur Befestigung mitbestellen!




* In den USA sind die Preise für Membranen und Druckrohre teilweise wesentlich günstiger!

## 7.4 DIE KLEINTEILE

### Manometer

Als Manometer sollte unbedingt ein pulsationsgedämpfter (= Glycerin gefüllter) Edelstahlmanometer verwendet werden.

Einen sehr schönen kleinen Manometer liefert hier It'sUs Ltd in England:
Typ 40mm 331D29DP, Anschluss 1/8" unten 70bar Preis ca. € 35,-
Manometer in Industriequalität gibt's im einschlägigen Fachhandel oder bei SCHWER (Best.Nr.: Typ RCG-63G1/4-610 ca. € 90,- / Rabat bis zu 45%!) WIKA, AFRISO .

### Nadelventil und Druckventil

Nadelventil und Druckventil gibt's wieder im einschlägigen Fachhandel. Für unsere Anlagen reicht ¼" als Nennweite knapp aus.

Beispiel: SERTO
Nadelventil Typ SO 57421-8-1/4" oder SO 57421-10* (ca. € 50,-)
Druckventil Typ SO 57421 DE - 10 / 20 - 60bar* (ca. € 110,-
* diese Ventile sind für 10mm Edelstahl-Rohr - eine sehr elegante Montagemöglichkeit in Verbindung mit den Rohrfittings von SERTO! Eine sehr schlechte Nachricht: das Druckhalteventil von SERTO wird nicht mehr gebaut!
Eine kostengünstige Alternative habe ich leider noch nicht gefunden, so dass ich in der Zwischenzeit ein entsprechendes Ventil selbst entwickelt habe, welches beide Funktionen in nur einem Bauteil vereinigen (2009)
Es gibt's doch: Druckhalteventile zum bezahlbaren Preis gibt's bei M+T Typ VSO100 (Best. Nr.: M40515003)!

### Durchflussmesser

Der Einbau eines Durchflussmessers in die Permeatleitung ist nicht zwingend erforderlich, aber sehr empfehlenswert! Mit eingebautem Durchflussmesser können Sie die Leistung der Anlage jederzeit ablesen - ansonsten müssen Sie zur Leistungsbestimmung eine Stopuhr und ein Meßgefäß verwenden!
Durchflussmesser gibt's im einschlägigen Fachhandel oder bei der Fa. MEISTER (Typ KM11-5-PMMA-1/4" 5 - 50l/h Preis ca. € 70,- oder entsprechend grösser!)

Eine sehr elegante Lösung sind kleine digitale Durchflussmesser mit Anzeige von Menge und Durchfluss (z.B. DIGMESA – oder schauen Sie einmal bei den Computer-Freaks die ihre Prozessoren mit Wasser kühlen=> da gibt's meist kleine günstige Durchflussmesser).

**Leitungen**

**Hochdruckleitungen**

Nur die Verbindungsleitung zwischen Hochdruckpumpe und Druckrohr sowie zwischen Druckrohr und Regelventilen müssen als Hochdruckleitungen (bis 65 bar) ausgelegt sein.
Je nach Anlagenmontage können diese Leitungen flexibel - als Hochdruckschlauch - oder starr - als Edelstahl-Hochdruckleitung ausgeführt werden. Die flexiblen Hochdruckschläuche mit fest aufgepressten Anschlüssen kann jeder lokale Hydraulik-Spezialist fertigen. Wichtig ist aber, dass die Anschlüsse aus V4A sind (diese gibt's auch bei SCHWER)! Stare Rohrleitungen mit allen Anschlüssen gibt's bei SERTO.

**Niederdruckleitungen**

Alle anderen Leitungen können als normale Schlauchleitungen in PVC ausgeführt werden. Ausreichend ist hier ½" bis maximalst ¾", für die Permeatleitung reicht auch ¼" als Nennweite.
Unbedingt beachten sollte man, dass die Schläuche für wässrige Medien geeignet sind (es gibt nämlich auch transparente PVC-Schläuche die nicht geeignet sind!) und dass die Schläuche **lebensmittelecht** - also ohne giftige Weichmacher - sind! Außerdem sollten alle Anschlüsse aus lebensmittelechtem Kunststoff (SERTO) oder Edelstahl (min. V4A) sein.
Wer's wirklich gut machen will geht auf einb Stecksystem (z.B. John Guest „Speedfit" ®).
Diese Systeme sind zwar teurer in der Anschaffung, aber wer einmal damit gearbeitet hat wird nie wieder eine „normale" Schlauchleitung verlegen. Darüber hinaus sind die PE-Schläucher dieses Systems wesentlich unempfindlicher gegen die in allen älteren Leitungen zu findende „Sielhaut" (=braune hautähnliche unappetitliche Anhaftung).

**Filter**

Alle Filter gibt es als normale Kerzen- oder Kartuschenfilter in Kunststoff in den einschlägigen Fachgeschäften, im Baumarkt oder bei CWG/REBECCA-FILTER. Bei den Kunststoff-Filtergehäusen muss darauf geachtet werden, dass diese meerwasserbeständig sind und die eingegossenen Gewindeanschlüsse nicht aus Messing sind, da dies langfristig zu Problemen führen würde!
Luxus - und natürlich nicht billig - sind Filtergehäuse aus Edelstahl, wie es sie beispielsweise bei der Fa KS gibt.
Die entsprechenden Filterkerzen in 20µm (Vorfilter) 5µm (Feinfilter) sowie die Aktivkohle-Einsätze gibt's beim Gehäuselieferant. Wählen Sie den Filter lieber etwas grösser - die Reinigungs- bzw. Wechselintervalle verlängern sich dadurch entsprechend!
Alle Gehäuse gibt's auch mit Druckmesser zur Anzeige des Filterwiederstandes (= Filterbelegung).

**Vordruckpumpe**

Wie bereits erwähnt benötigen insbesondere schnelllaufende Hochdruckkolbenpumpen einen bestimmten Vordruck um effektiv zu arbeiten. Diese Pumpen neigen bei zu geringem Vordruck zur Kavitation und können bei Einsatz bestimmter Hochdruckdichtungen auch Luft über dieselbe anziehen. Ungünstig verstärkt werden diese Effekte durch zu kleine oder verstopfte Vorfilter und durch zu kleine Zuleitungen. Eine Montage der Pumpe unter der Wasserlinie ist also notwendig. Ist diese Montage nicht möglich so können wir uns mit einer kleinen „Vordruckpumpe" behelfen. In Frage kommen alle meerwasserbeständigen und dauerlaufgeeigneten Pumpen die einen Mindestdruck von ca. 250mbar (2,5m WS) und die notwendige Fördermenge haben.
Die günstigsten Pumpen stammen aus dem Campingzubehör und sind kleine Tauch-Kreiselpumpen wie sie als einfache Trinkwasserpumpen verwendet werden.
Eine sehr langlebige und zuverlässige Pumpe ist die dichtungslose (!) 12V Kreiselpumpe für Heizkreisläufe der Fa. Bühler (www.buehlermotor.de). Preis: ca.: € 95,- Rabatt bis zu 50%, oder die „Kugelrotor-Pumpe" D5-Vario mit Kunststoffgehäuse von Xylem (auch bei Toplicht zu beziehen).
Eine kostengünstige Alternative sind die magnetgekoppelten Kleinpumpen von MARCH MFG. Inc. USA (z.B. Typ 893-10). Für etwas grössere Leistungen eignen sich die Pumpen der Fa SPECK (z.B. MY3-6000MK für 12V: bis 55l/min – max. 1,3bar).
Wie vor erwähnt ist der Schiffsbetrieb eines Watermakers nicht unproblematisch was die GUTE Entlüftung des Zulaufs angeht! Hierzu hat der Autor mehrere verschiedene Systeme entwickelt!

## 7.5 BEZUGSADRESSEN

Die nachfolgenden Bezugsadressen sind nur eine kleine Auswahl der möglichen Lieferanten. Wie bereits vermerkt sind viele Teile in den USA wesentlich günstiger - was aber durch Transport und Zoll-Kosten meist wieder zunichte gemacht wird - ganz abgesehen von den Problemen bei Falschlieferung und im Garantiefall! Alle Lieferanten arbeiten fast ausschließlich für die Industrie und beliefern Endverbraucher nicht oder nur ungern. Auch werden im Regelfall die für Industriekunden möglichen Rabatte (teilweise über 50%!) nicht bei Endkunden gewährt!

| Bezeichnung | Firma | Strasse | PLZ- Ort | Telefon | Fax | Internet |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **BONFIGLIOLI** | BONFIGLIOLI Deutschland GmbH | Krähenäckerweg11 | 72124 Plietzhausen | 07127-814441 | 07127-814445 | www.bonfiglioli.de |
| **Bühler** | Bühler Motor GmbH | Postfach 450155 | 90212 Nürnberg | 0911-4504-0 | 0911-4504-121 | www.buehlermotor.de |
| **CAT-Pumps** | CAT PUMPS DEUTSCHLAND | Buchwiese 2-4 | 65510 Idstein | 06126-9303-11 | 06126-9303-33 | www.catpumps.de |
| **CWG** | CWG-GmbH | Bohnenbergerstrasse 6 | 68219 Mannheim | 0621-8779-6 | 0621-8748-90 | www.cwggmbh.de |
| **GROSCHOPP** | Groschopp AG | Postfach 10 05 61 | 41705 Viersen | 02162374-0 | 02162374-109 | www.groschopp.de |
| **It'sUs** | It's Us Ltd | 24 Dagmar Grove Alexandra Park | NG3 4JE Nottingham | 0044-07870-22 3538 | 0044-01158-45 1306 | |
| **KS** | KS-Filtertechnik GmbH | Stelle 9 | 27367 Hellwege | 04297-817 007 | 04297-817 009 | www.ks-filter.de |
| **MÄDLER** | Mädler GmbH | Tränkestrasse 6-8 | 70597 Stuttgart | 0711-72095-0 | 0711-72095-33 | www.maedler.de |
| **MARINSHOP** | WestAqua GmbH | Gücherweg 74 | 50169 Kerpen | | | www.marinshop.de |
| **MEISTER** | Meister Strömungstechnik GmbH | Gewerbegebiet 2 | 63831 Wiesen | 06096-97200-0 | 06096-97200-30 | www.meister-flow.com |
| **PERM** | PERM MOTOR GmbH | Kesslerstrasse 3 | 79206 Breisach | 07667-906312 | 07667-906329 | www.perm-motor.de |
| **SCHWER** | Schwer Fittings GmbH | Hauptstrasse 150 | 78588 Denkingen | 07424-9825-0 | 07424-9825-90 | www.schwer.com |
| **SERTO** | SERTO jacob GmbH | | 34277 Fuldabrück | 0561-58004-0 | 0561-58004-44 | www.serto.de |

***Nachtrag:***

| | |
|---|---|
| Membranen: | Online bei John West: americanro.com |
| | Lenntech / Holland |
| Hochdruckpumpen: | M+T Druckwassertechnik / Leverkusen |
| Druckhalteventile: | ebenfalls M+T |
| Druckrohre: | Knappe Composits / France (die Besten!) |

# ANHANG 1

## AUSZÜGE AUS DER TRINKWASSERVERORDNUNG

### Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung

**Artikel 1 (Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch)**
**1. Abschnitt (Allgemeine Vorschriften)**
**§ 1 (Zweck der Verordnung)**
Zweck der Verordnung ist es, die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben, das für den menschlichen Gebrauch bestimmt ist, durch Gewährleistung seiner Genusstauglichkeit und Reinheit nach Maßgabe der folgenden Vorschriften zu schützen.

**§ 2 (Anwendungsbereich)**
(1) Diese Verordnung regelt die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Sie gilt nicht für
1. natürliches Mineralwasser im Sinne des § 2 der Mineral- und Tafelwasserverordnung vom 1. August 1984 (BGBl. I S. 1036), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom ..... (BGBl. I S. .....) geändert worden ist,
2. Heilwasser im Sinne des § 2 Abs. 1 des Arzneimittelgesetzes.
(2) Für Anlagen und Wasser aus Anlagen, die zur Entnahme oder Abgabe von Wasser bestimmt sind, das nicht die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch hat, und die zusätzlich zu den Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 im Haushalt verwendet werden, gilt diese Verordnung nur, soweit sie auf solche Anlagen ausdrücklich Bezug nimmt.

**§ 4 (Allgemeine Anforderungen)**
(1) Wasser für den menschlichen Gebrauch muss frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden und das Wasser für den menschlichen Gebrauch den Anforderungen der §§ 5 bis 7 entspricht.
**§ 5 (Mikrobiologische Anforderungen)**
(1) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.
(2) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen die in Anlage 1 Teil I festgesetzten Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nicht überschritten werden.

**§ 6 (Chemische Anforderungen)**
(1) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.
(2) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen die in Anlage 2 festgesetzten Grenzwerte für chemische Parameter nicht überschritten werden. Die lfd. Nr. 4 der Anlage 2 Teil I tritt am 1. Januar 2006 in Kraft. Vom 1. Januar 2003 bis zum 31. Dezember 2005 gilt der Grenzwert von 0,025 mg/l. Die lfd. Nr. 4 der Anlage 2 Teil II tritt am 1. Dezember 2013 in Kraft; vom 1. Dezember 2003 bis zum 30. November 2013 gilt der Grenzwert von 0,025 mg/l; vom 1. Januar 2003 bis zum 30. November 2003 gilt der Grenzwert von 0,04 mg/l.
(3) Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Wasser für den menschlichen Gebrauch verunreinigen oder seine Beschaffenheit nachteilig beeinflussen können, sollen so niedrig gehalten werden, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist.

**Anlage 2 (zu § 6 Abs. 2) Chemische Parameter**

TEIL I: Chemische Parameter, deren Konzentration sich im Verteilungsnetz einschließlich der Hausinstallation in der Regel nicht mehr erhöht

| Lfd. Nr. | Parameter | Grenzwert mg/l | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 1 | Acrylamid | 0,0001 | Der Grenzwert bezieht sich auf die Restmonomerkonzentration im Wasser, berechnet auf Grund der maximalen Freisetzung nach den Spezifikationen des entsprechenden Polymers und der angewandten Polymerdosis |
| 2 | Benzol | 0,001 | |
| 3 | Bor | 1 | |
| 4 | Bromat | 0,01 | |
| 5 | Chrom | 0,05 | Zur Bestimmung wird die Konzentration von Chromat auf Chrom umgerechnet |
| 6 | Cyanid | 0,05 | |
| 7 | 1,2-Dichlorethan | 0,003 | |
| 8 | Fluorid | 1,5 | |
| 9 | Nitrat | 50 | Die Summe aus Nitratkonzentration in mg/l geteilt durch 50 und Nitritkonzentration in mg/l geteilt durch 3 darf nicht größer als 1 mg/l sein |
| 10 | Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte | 0,0001 | Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte bedeutet: organische Insektizide, organische Herbizide, organische Fungizide, organische Nematizide, organische Akarizide, organische Algizide, organische Rodentizide, organische Schleimbekämpfungsmittel, verwandte Produkte (u. a. Wachstumsregulatoren) und die relevanten Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte. Es brauchen nur solche Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte überwacht zu werden, deren Vorhandensein in einer bestimmten Wasserversorgung wahrscheinlich ist. Der Grenzwert gilt jeweils für die einzelnen Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte. Für Aldrin, Dieldrin, Heptachlor und Heptachlorepoxid gilt der Grenzwert von 0,00003 mg/l |
| 11 | Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte insgesamt | 0,0005 | Der Parameter bezeichnet die Summe der bei dem Kontrollverfahren nachgewiesenen und mengenmäßig bestimmten einzelnen Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte |
| 12 | Quecksilber | 0,001 | |
| 13 | Selen | 0,01 | |
| 14 | Tetrachlorethen und Trichlorethen | 0,01 | Summe der für die beiden Stoffe nachgewiesenen Konzentrationen |

**INDIKATORPARAMETER**

| Lfd. Nr. | Parameter | Einheit als | Grenzwert/ Anforderung | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Aluminium | mg/l | 0,2 | |
| 2 | Ammonium | mg/l | 0,5 | Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu einem Grenzwert von 30 mg/l außer Betracht. Die Ursache einer plötzlichen oder kontinuierlichen Erhöhung der üblicherweise gemessenen Konzentration ist zu untersuchen |
| 3 | Chlorid | mg/l | 250 | Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1) |
| 4 | Clostridium perfringens (einschließlich Sporen) | Anzahl/100 ml | 0 | Dieser Parameter braucht nur bestimmt zu werden, wenn das Wasser von Oberflächenwasser stammt oder von Oberflächenwasser beeinflusst wird. Wird dieser Grenzwert nicht eingehalten, veranlasst die zuständige Behörde Nachforschungen im Versorgungssystem, um sicherzustellen, dass keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit auf Grund eines Auftretens krankheitserregender Mikroorganismen, z. B. Cryptosporidium, besteht. Über das Ergebnis dieser Nachforschungen unterrichtet die zuständige Behörde über die zuständige oberste Landesbehörde das Bundesministerium für Gesundheit |
| 5 | Eisen | mg/l | 0,2 | Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bei Anlagen mit einer Abgabe von bis zu 1000 m³ im Jahr bis zu 0,5 mg/l außer Betracht |
| 6 | Färbung (spektraler Absorptionskoeffizient Hg 436 nm) | $m^{-1}$ | 0,5 | Bestimmung des spektralen Absorptionskoeffizienten mit Spektralphotometer oder Filterphotometer |
| 7 | Geruchsschwellenwert | | 2 bei 12 °C<br>3 bei 25 °C | Stufenweise Verdünnung mit geruchsfreiem Wasser und Prüfung auf Geruch |
| 8 | Geschmack | | für den Verbraucher annehmbar und ohne anormale Veränderung | |
| 9 | Koloniezahl bei 22 °C | | ohne anormale Veränderung | Bei der Anwendung des Verfahrens nach Anlage 1 Nr. 5 TrinkwV a. F. gelten folgende Grenzwerte: 100/ml am Zapfhahn des Verbrauchers; 20/ml unmittelbar nach Abschluss der Aufbereitung im desinfizierten Wasser; 1000/ml bei Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 Buchstabe b sowie in Tanks von Land-, Luft- und |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | Wasserfahrzeugen. Bei Anwendung anderer Verfahren ist das Verfahren nach Anlage 1 Nr. 5 TrinkwV a. F. für die Dauer von mindestens einem Jahr parallel zu verwenden, um entsprechende Vergleichswerte zu erzielen. Der Unternehmer oder sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage hat unabhängig vom angewandten Verfahren einen plötzlichen oder kontinuierlichen Anstieg unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden |
| 10 | Koloniezahl bei 36 °C | | ohne anormale Veränderung | Bei der Anwendung des Verfahrens nach Anlage 1 Nr. 5 TrinkwV a. F. gilt der Grenzwert von 100/ml. Bei Anwendung anderer Verfahren ist das Verfahren nach Anlage 1 Nr. 5 TrinkwV a. F. für die Dauer von mindestens einem Jahr parallel zu verwenden, um entsprechende Vergleichswerte zu erzielen. Der Unternehmer oder sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage hat unabhängig vom angewandten Verfahren einen plötzlichen oder kontinuierlichen Anstieg unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden |
| 11 | Elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | 2500 bei 20 °C | Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1) |
| 12 | Mangan | mg/l | 0,05 | Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bei Anlagen mit einer Abgabe von bis zu 1000 m³ im Jahr bis zu einem Grenzwert von 0,2 mg/l außer Betracht |
| 13 | Natrium | mg/l | 200 | |
| 14 | Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC) | | ohne anormale Veränderung | Bei Versorgungssystemen mit einer Abgabe von weniger als 10 000 m³ pro Tag braucht dieser Parameter nicht bestimmt zu werden |
| 15 | Oxidierbarkeit | mg/l $O_2$ | 5 | Dieser Parameter braucht nicht bestimmt zu werden, wenn der Parameter TOC analysiert wird |
| 16 | Sulfat | mg/l | 240 | Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1). Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu einem Grenzwert von 500 mg/l außer Betracht |
| 17 | Trübung | Trübungseinheiten (NTU) | 1,0 | Der Grenzwert gilt am Ausgang des Wasserwerks. Der Unternehmer oder sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage hat einen plötzlichen oder kontinuierlichen Anstieg unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden |
| 18 | Wasserstoff-ionen-Konzentration | pH-Einheiten | $\geq$ 6,5 und $\leq$ 9,5 | Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1). Die berechnete Calcitlösekapazität am Ausgang des Wasserwerks darf 5 mg/l $CaCO_3$ nicht überschreiten; diese Forderung gilt als erfüllt, wenn der pH-Wert am Wasserwerksausgang $\geq$7,7 ist. Bei der Mischung von Wasser aus zwei oder mehr Wasserwerken darf die Calcitlösekapazität im Verteilungsnetz den Wert von 20 mg/l nicht überschreiten. Für in Flaschen oder Behältnisse abgefülltes Wasser kann der Mindestwert auf 4,5 pH-Einheiten herabgesetzt werden. Für in Flaschen oder Behältnisse abgefülltes Wasser, das von Natur aus kohlensäurehaltig ist oder das mit Kohlensäure versetzt wurde, kann der Mindestwert niedriger sein |
| 19 | Tritium | Bq/l | 100 | Anmerkungen 2 und 3 |
| 20 | Gesamtrichtdosis | mSv/Jahr | 0,1 | Anmerkungen 2 bis 4 |

# ANHANG 2

## AUSZÜGE AUS DEN VORSCHRIFTEN DER FDA/EPA (USA)

**List of National Secondary Drinking Water Regulations**

| Contaminant | Secondary Standard |
|---|---|
| Aluminum | 0.05 to 0.2 mg/L |
| Chloride | 250 mg/L |
| Color | 15 (color units) |
| Copper | 1.0 mg/L |
| Corrosivity | noncorrosive |
| Fluoride | 2.0 mg/L |
| Foaming Agents | 0.5 mg/L |
| Iron | 0.3 mg/L |
| Manganese | 0.05 mg/L |
| Odor | 3 threshold odor number |
| pH | 6.5-8.5 |
| Silver | 0.10 mg/L |
| Sulfate | 250 mg/L |
| Total Dissolved Solids | 500 mg/L |
| Zinc | 5 mg/L |

## Microorganisms

| Contaminant | MCLG[1] (mg/L)[2] | MCL or TT[1] (mg/L)[2] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Cryptosporidium | zero | TT[3] | Gastrointestinal illness (e.g., diarrhea, vomiting, cramps) | Human and animal fecal waste |
| Giardia lamblia | zero | TT[3] | Gastrointestinal illness (e.g., diarrhea, vomiting, cramps) | Human and animal fecal waste |
| Heterotrophic plate count | n/a | TT[3] | HPC has no health effects; it is an analytic method used to measure the variety of bacteria that are common in water. The lower the concentration of bacteria in drinking water, the better maintained the water system is. | HPC measures a range of bacteria that are naturally present in the environment |
| Legionella | zero | TT[3] | Legionnaire's Disease, a type of pneumonia | Found naturally in water; multiplies in heating systems |
| Total Coliforms (including fecal coliform and *E. Coli*) | zero | 5.0%[4] | Not a health threat in itself; it is used to indicate whether other potentially harmful bacteria may be present[5] | Coliforms are naturally present in the environment; as well as feces; fecal coliforms and *E. coli* only come from human and animal fecal waste. |
| Turbidity | n/a | TT[3] | Turbidity is a measure of the cloudiness of water. It is used to indicate water quality and filtration effectiveness (e.g., whether disease-causing organisms are present). Higher turbidity levels are often associated with higher levels of disease-causing microorganisms such as viruses, parasites and some bacteria. These organisms can cause symptoms such as nausea, cramps, diarrhea, and associated headaches. | Soil runoff |
| Viruses (enteric) | zero | TT[3] | Gastrointestinal illness (e.g., diarrhea, vomiting, cramps) | Human and animal fecal waste |

## Disinfection Byproducts

| Contaminant | MCLG[1] (mg/L)[2] | MCL or TT[1] (mg/L)[2] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Bromate | zero | 0.010 | Increased risk of cancer | Byproduct of drinking water disinfection |
| Chlorite | 0.8 | 1.0 | Anemia; infants & young children: nervous system effects | Byproduct of drinking water disinfection |
| Haloacetic acids (HAA5) | n/a[6] | 0.060[7] | Increased risk of cancer | Byproduct of drinking water disinfection |
| Total Trihalomethanes (TTHMs) | n/a[6] | 0.080[7] | Liver, kidney or central nervous system problems; increased risk of cancer | Byproduct of drinking water disinfection |

## Disinfectants

| Contaminant | MRDLG[1] (mg/L)[2] | MRDL[1] (mg/L)[2] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Chloramines (as $Cl_2$) | MRDLG=4[1] | MRDL=4.0[1] | Eye/nose irritation; stomach discomfort, anemia | Water additive used to control microbes |
| Chlorine (as $Cl_2$) | MRDLG=4[1] | MRDL=4.0[1] | Eye/nose irritation; stomach discomfort | Water additive used to control microbes |
| Chlorine dioxide (as $ClO_2$) | MRDLG=0.8[1] | MRDL=0.8[1] | Anemia; infants & young children: nervous system effects | Water additive used to control microbes |

## Inorganic Chemicals

| Contaminant | MCLG[1] (mg/L)[2] | MCL or TT[1] (mg/L)[2] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Antimony | 0.006 | 0.006 | Increase in blood cholesterol; decrease in blood sugar | Discharge from petroleum refineries; fire retardants; ceramics; electronics; solder |
| Arsenic | 0[7] | 0.010 as of 01/23/06 | Skin damage or problems with circulatory systems, and may have increased risk of getting cancer | Erosion of natural deposits; runoff from orchards, runoff from glass & electronicsproduction wastes |
| Asbestos (fiber >10 micrometers) | 7 million fibers per liter | 7 MFL | Increased risk of developing benign intestinal polyps | Decay of asbestos cement in water mains; erosion of natural deposits |
| Barium | 2 | 2 | Increase in blood pressure | Discharge of drilling wastes; discharge from metal refineries; erosion of natural deposits |
| Beryllium | 0.004 | 0.004 | Intestinal lesions | Discharge from metal refineries and coal-burning factories; discharge from electrical, aerospace, and defense industries |
| Cadmium | 0.005 | 0.005 | Kidney damage | Corrosion of galvanized pipes; erosion of natural deposits; discharge from metal refineries; runoff from waste batteries and paints |
| Chromium (total) | 0.1 | 0.1 | Allergic dermatitis | Discharge from steel and pulp mills; erosion of natural deposits |
| Copper | 1.3 | TT[8]; Action Level=1.3 | Short term exposure: Gastrointestinal distress<br>Long term exposure: Liver or kidney damage<br>People with Wilson's Disease should consult their personal doctor if the amount of copper in their water exceeds the action level | Corrosion of household plumbing systems; erosion of natural deposits |
| Cyanide (as free cyanide) | 0.2 | 0.2 | Nerve damage or thyroid problems | Discharge from steel/metal factories; discharge from plastic and fertilizer factories |
| Fluoride | 4.0 | 4.0 | Bone disease (pain and tenderness of the bones); Children may get mottled teeth | Water additive which promotes strong teeth; erosion of natural deposits; discharge from fertilizer and aluminum factories |
| Lead | zero | TT[8]; Action Level=0.015 | Infants and children: Delays in physical or mental development; children could show slight deficits in attention span and learning abilities<br>Adults: Kidney problems; high blood pressure | Corrosion of household plumbing systems; erosion of natural deposits |
| Mercury (inorganic) | 0.002 | 0.002 | Kidney damage | Erosion of natural deposits; discharge from refineries and factories; runoff from landfills and croplands |
| Nitrate (measured as Nitrogen) | 10 | 10 | Infants below the age of six months who drink water containing nitrate in excess of the MCL could become seriously ill and, if untreated, may die. Symptoms include shortness of breath and blue-baby syndrome. | Runoff from fertilizer use; leaching from septic tanks, sewage; erosion of natural deposits |
| Nitrite (measured as Nitrogen) | 1 | 1 | Infants below the age of six months who drink water containing nitrite in excess of the MCL could become seriously ill and, if untreated, may die. Symptoms include shortness of breath and blue-baby syndrome. | Runoff from fertilizer use; leaching from septic tanks, sewage; erosion of natural deposits |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Selenium | 0.05 | 0.05 | Hair or fingernail loss; numbness in fingers or toes; circulatory problems | Discharge from petroleum refineries; erosion of natural deposits; discharge from mines |
| Thallium | 0.0005 | 0.002 | Hair loss; changes in blood; kidney, intestine, or liver problems | Leaching from ore-processing sites; discharge from electronics, glass, and drug factories |

## Organic Chemicals

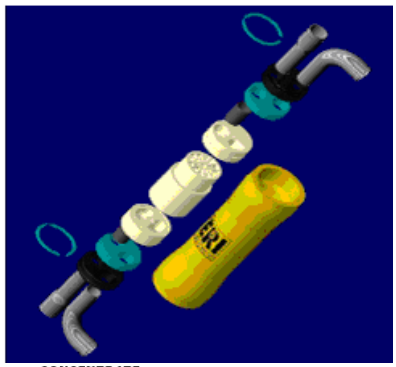
| Contaminant | MCLG[1] (mg/L)[3] | MCL or TT[1] (mg/L)[2] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Acrylamide | zero | TT[9] | Nervous system or blood problems; increased risk of cancer | Added to water during sewage/wastewater treatment |
| Alachlor | zero | 0.002 | Eye, liver, kidney or spleen problems; anemia; increased risk of cancer | Runoff from herbicide used on row crops |
| Atrazine | 0.003 | 0.003 | Cardiovascular system or reproductive problems | Runoff from herbicide used on row crops |
| Benzene | zero | 0.005 | Anemia; decrease in blood platelets; increased risk of cancer | Discharge from factories; leaching from gas storage tanks and landfills |
| Benzo(a)pyrene (PAHs) | zero | 0.0002 | Reproductive difficulties; increased risk of cancer | Leaching from linings of water storage tanks and distribution lines |
| Carbofuran | 0.04 | 0.04 | Problems with blood, nervous system, or reproductive system | Leaching of soil fumigant used on rice and alfalfa |
| Carbon tetrachloride | zero | 0.005 | Liver problems; increased risk of cancer | Discharge from chemical plants and other industrial activities |
| Chlordane | zero | 0.002 | Liver or nervous system problems; increased risk of cancer | Residue of banned termiticide |
| Chlorobenzene | 0.1 | 0.1 | Liver or kidney problems | Discharge from chemical and agricultural chemical factories |
| 2,4-D | 0.07 | 0.07 | Kidney, liver, or adrenal gland problems | Runoff from herbicide used on row crops |
| Dalapon | 0.2 | 0.2 | Minor kidney changes | Runoff from herbicide used on rights of way |
| 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP) | zero | 0.0002 | Reproductive difficulties; increased risk of cancer | Runoff/leaching from soil fumigant used on soybeans, cotton, pineapples, and orchards |
| o-Dichlorobenzene | 0.6 | 0.6 | Liver, kidney, or circulatory system problems | Discharge from industrial chemical factories |
| p-Dichlorobenzene | 0.075 | 0.075 | Anemia; liver, kidney or spleen damage; changes in blood | Discharge from industrial chemical factories |
| 1,2-Dichloroethane | zero | 0.005 | Increased risk of cancer | Discharge from industrial chemical factories |
| 1,1-Dichloroethylene | 0.007 | 0.007 | Liver problems | Discharge from industrial chemical factories |
| cis-1,2-Dichloroethylene | 0.07 | 0.07 | Liver problems | Discharge from industrial chemical factories |
| trans-1,2-Dichloroethylene | 0.1 | 0.1 | Liver problems | Discharge from industrial chemical factories |
| Dichloromethane | zero | 0.005 | Liver problems; increased risk of cancer | Discharge from drug and chemical factories |
| 1,2-Dichloropropane | zero | 0.005 | Increased risk of cancer | Discharge from industrial chemical factories |
| Di(2-ethylhexyl) adipate | 0.4 | 0.4 | Weight loss, liver problems, or possible reproductive difficulties. | Discharge from chemical factories |
| Di(2-ethylhexyl) phthalate | zero | 0.006 | Reproductive difficulties; liver problems; increased risk of cancer | Discharge from rubber and chemical factories |
| Dinoseb | 0.007 | 0.007 | Reproductive difficulties | Runoff from herbicide used on soybeans and vegetables |
| Dioxin (2,3,7,8-TCDD) | zero | 0.00000003 | Reproductive difficulties; increased risk of cancer | Emissions from waste incineration and other combustion; discharge from chemical factories |
| Diquat | 0.02 | 0.02 | Cataracts | Runoff from herbicide use |
| Endothall | 0.1 | 0.1 | Stomach and intestinal problems | Runoff from herbicide use |
| Endrin | 0.002 | 0.002 | Liver problems | Residue of banned insecticide |
| Epichlorohydrin | zero | TT[9] | Increased cancer risk, and over a long period of time, stomach problems | Discharge from industrial chemical factories; an impurity of some water treatment chemicals |
| Ethylbenzene | 0.7 | 0.7 | Liver or kidneys problems | Discharge from petroleum refineries |
| Ethylene dibromide | zero | 0.00005 | Problems with liver, stomach, reproductive system, or kidneys; | Discharge from petroleum refineries |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | increased risk of cancer | |
| Glyphosate | 0.7 | 0.7 | Kidney problems; reproductive difficulties | Runoff from herbicide use |
| Heptachlor | zero | 0.0004 | Liver damage; increased risk of cancer | Residue of banned termiticide |
| Heptachlor epoxide | zero | 0.0002 | Liver damage; increased risk of cancer | Breakdown of heptachlor |
| Hexachlorobenzene | zero | 0.001 | Liver or kidney problems; reproductive difficulties; increased risk of cancer | Discharge from metal refineries and agricultural chemical factories |
| Hexachlorocyclopentadiene | 0.05 | 0.05 | Kidney or stomach problems | Discharge from chemical factories |
| Lindane | 0.0002 | 0.0002 | Liver or kidney problems | Runoff/leaching from insecticide used on cattle, lumber, gardens |
| Methoxychlor | 0.04 | 0.04 | Reproductive difficulties | Runoff/leaching from insecticide used on fruits, vegetables, alfalfa, livestock |
| Oxamyl (Vydate) | 0.2 | 0.2 | Slight nervous system effects | Runoff/leaching from insecticide used on apples, potatoes, and tomatoes |
| Polychlorinated biphenyls (PCBs) | zero | 0.0005 | Skin changes; thymus gland problems; immune deficiencies; reproductive or nervous system difficulties; increased risk of cancer | Runoff from landfills; discharge of waste chemicals |
| Pentachlorophenol | zero | 0.001 | Liver or kidney problems; increased cancer risk | Discharge from wood preserving factories |
| Picloram | 0.5 | 0.5 | Liver problems | Herbicide runoff |
| Simazine | 0.004 | 0.004 | Problems with blood | Herbicide runoff |
| Styrene | 0.1 | 0.1 | Liver, kidney, or circulatory system problems | Discharge from rubber and plastic factories; leaching from landfills |
| Tetrachloroethylene | zero | 0.005 | Liver problems; increased risk of cancer | Discharge from factories and dry cleaners |
| Toluene | 1 | 1 | Nervous system, kidney, or liver problems | Discharge from petroleum factories |
| Toxaphene | zero | 0.003 | Kidney, liver, or thyroid problems; increased risk of cancer | Runoff/leaching from insecticide used on cotton and cattle |
| 2,4,5-TP (Silvex) | 0.05 | 0.05 | Liver problems | Residue of banned herbicide |
| 1,2,4-Trichlorobenzene | 0.07 | 0.07 | Changes in adrenal glands | Discharge from textile finishing factories |
| 1,1,1-Trichloroethane | 0.20 | 0.2 | Liver, nervous system, or circulatory problems | Discharge from metal degreasing sites and other factories |
| 1,1,2-Trichloroethane | 0.003 | 0.005 | Liver, kidney, or immune system problems | Discharge from industrial chemical factories |
| Trichloroethylene | zero | 0.005 | Liver problems; increased risk of cancer | Discharge from metal degreasing sites and other factories |
| Vinyl chloride | zero | 0.002 | Increased risk of cancer | Leaching from PVC pipes; discharge from plastic factories |
| Xylenes (total) | 10 | 10 | Nervous system damage | Discharge from petroleum factories; discharge from chemical factories |

## Radionuclides

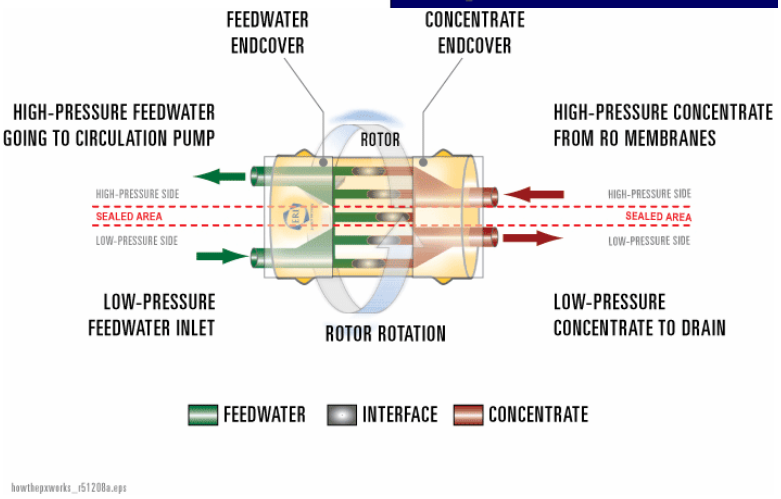
| Contaminant | MCLG[1] (mg/L)[2] | MCL or TT[1] (mg/L)[3] | Potential Health Effects from Ingestion of Water | Sources of Contaminant in Drinking Water |
|---|---|---|---|---|
| Alpha particles | none[7] ---------- zero | 15 picocuries per Liter (pCi/L) | Increased risk of cancer | Erosion of natural deposits of certain minerals that are radioactive and may emit a form of radiation known as alpha radiation |
| Beta particles and photon emitters | none[7] ---------- zero | 4 millirems per year | Increased risk of cancer | Decay of natural and man-made deposits of certain minerals that are radioactive and may emit forms of radiation known as photons and beta radiation |
| Radium 226 and Radium 228 (combined) | none[7] ---------- zero | 5 pCi/L | Increased risk of cancer | Erosion of natural deposits |
| Uranium | zero | 30 ug/L as of 12/08/03 | Increased risk of cancer, kidney toxicity | Erosion of natural deposits |

# ANHANG 3
# DAS ERI-PRINZIP
## INDUSTRIELLE ENERGIERÜCKGEWINNUNG



Die Energierückgewinnung nach dem “rotating door” Prinzip gehört zu den wohl innovativsten Erfindungen der letzten Jahre. Hier geschieht die Energierückgewinnung mittels einer rotierenden Turbine die durch das Treibwasser selbst angetrieben wird, also keinen eigenen Antrieb hat. Das Verfahren ist patentiert. Die heute von der Fa. Energy Recovery Inc. (ERI) USA hergestellten Modulle aus Keramik sind praktisch verschleissfrei! Leider sind diese Module erst ab einer Umwälzmenge über 5m³/h erhältlich, da eine weitere Miniaturisierung schwierig ist. Heute werden jährlich durch die ERI-Module ca. 500MW Strom eingespart!

**Funktionsweise der ERI-PX-Module:**




In einer RO-Anlage wird der Retentat-Fluss über das ERI-Modul direkt wieder zum Feed geleitet. Der Rotor des ERI-PX-Moduls dreht sich hierbei und die mit Retentat beladene Kammer dreht aus dem Hochdruckbereich in den Niederdruckbereich. Im Niederdruck-bereich wird das Retentat sodann durch Feedwasser / Meerwasser verdrängt.
Die nun mit Meerwasser beladene Kammer dreht weiter und kommt so in den Hochdruckbereich wo das Meerwasser (Feed) durch das Retentat verdrängt und wieder dem Hochdruckfeed zugeführt wird. Es bedarf lediglich einer Pumpe zum Ausgleich des Druckverlustes des Kreislaufs sowie einer Hochdruckpumpe mit der Förderleistung des Permeatflusses!
Die Energie-Einsparung eines solchen Systems liegt bei bis zu über 90%. Mit grossen RO-Anlagen die mit einem solchen System ausgerüstet sind sinkt der Energieverbrauch bis unter 3Wh/l Trinkwasser!

# ANHANG 4

## OPTIMIERUNG BESTEHENDER RO-KONZEPTE

### a) Einleitung:

Umkehrosmoseanlagen werden heute industriell zur Trinkwassergewinnung aus Meerwasser eingesetzt. Das hierbei gewonnene Trinkwasser ist zu >99% salz- und zu 100% keimfrei!
Der Energieverbrauch moderner Grossanlagen liegt bei **< 3Wh/l** Trinkwasser; die Lebensdauer einer RO-Membrane („Filter“) liegt bei bis zu > 30.000 Betriebsstunden.
Diese Werte werden in heutigen kompakten Kleinanlagen nicht erreicht.

### b) Beispieldaten

Daten einer Filmtec SW30-2540 und einer SW30-4041 RO-Membrane:

| | techn. Daten | | | | | Testdaten | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fläche | max. Druck | min. Overflow | max. Recovery | Länge | Salz-gehalt | Temp. | Druck | Rejektion | Recovery | Permeat |
| SW30-2540 | 2,6 m² | 6,9 MPa | 227 l/h | 13% | 1016 mm | 32 g/l | 25℃ | 5,5 Mpa | 99,4 0% | 8% | 108 l/h |
| SW30-4021 | 3,1 m² | 6,9 MPa | 910 l/h | 13% | 533 mm | 33 g/l | 25℃ | 5,5 Mpa | 199,4 0% | 4% | 125 l/h |

Für nachfolgende Auswertung wurden die folgenden praxisnahen Testparameter zugrunde gelegt:

| Testdaten | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Salzgehalt | Temp. | Druck | Wirkugsgrad der Pumpe | Fouling der Membrane |
| 36 g/l | 20℃ | 5,0 Mpa | 80,00% | 85% |

## c) Stand der Technik / marktgängige Klein-RO-Anlagen

Es sind 2 Systeme im Einsatz: Anlagen ohne Energierückgewinnung und Anlagen mit Energierückgewinnung aus dem Retentat (Konzentrat).

**Anlagen ohne Energierückgewinnung:**

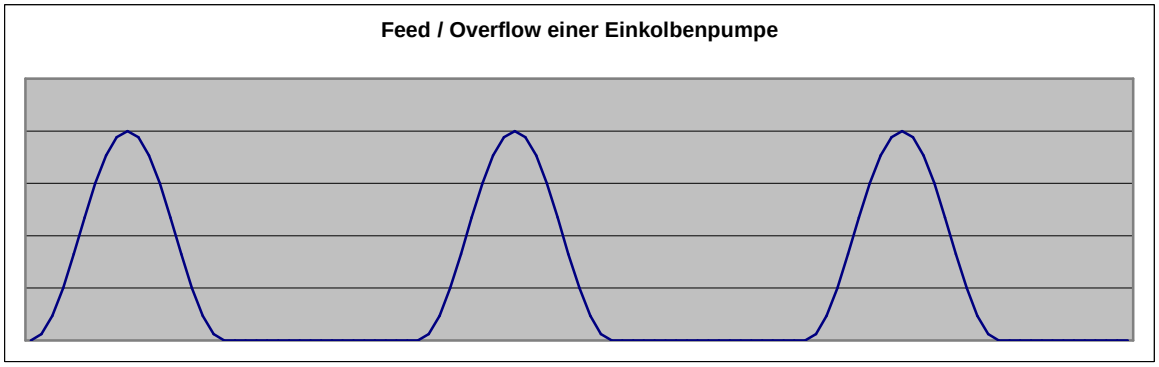
Der Energieverbrauch einer RO-Anlage ist gerade bei kleinen Kompakt-Anlagen die autark betrieben werden sollen ein bisher nur unbefriedigend gelöstes Problem. Alle bisher in der Praxis realisierten Systeme arbeiten mit Kolbenpumpen, welche um die minimale Überströmung einer Membrane nicht zu unterschreiten einen hohen spezifischen Energiebedarf haben. Mittels der existierenden Systeme zur Energierückgewinnung aus dem Retentat kann zwar ein geringen spezifischer Energieverbrauch realisiert werden (>/= 4Wh/l Permeat), die für den störungsfreien Langzeitbetrieb einer RO-Membrane notwendige Überströmung wird jedoch nicht erreicht. Im Gegendteil: bei vielen Anlagen geht die Überströmung bei jedem OT-Durchgang des Stufen-Kolbens taktmäßig gegen Null. Bei Anlage ohne Energierückgewinnung werden meist Mehr-Kolbepumpen (3 Kolben und mehr) eingesetzt die sodann wenigstens eine nur leicht pulsierende Überströmung garantieren, wobei diese aber aufgrund des Energieverbrauchs so niedrig wie möglich gehalten wird.

**Energieverbrauch:**

Es sind Systeme mit 1, 3 und 5-Kolben-Hochdruckpumpen im Einsatz. Der Energiebedarf dieser Systeme wird durch den notwendigen Overflow ( = Überströmung der Membrane) und die maximalste Recovery-Rate bestimmt (wird diese überschritten so leidet die Standzeit der Membrane stark!) und liegt bei **> 9,6 Wh/l** unter Berücksichtigung des Overflow und bei **> 13,5Wh/l** unter Berücksichtigung der Recovery-Rate bei Verwendung einer SW30-2540. Die Daten für eine wesentlich kleinere Membrane SW30-4021 liegen noch wesentlich ungünstiger!

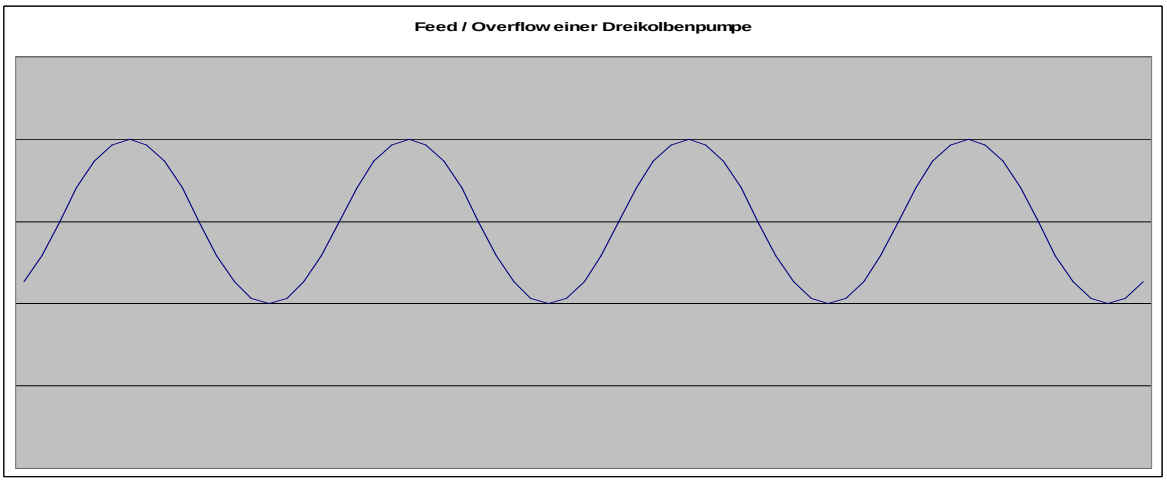
**Overflow:**

Der Overflow ist für die Standfestigkeit einer Membrane entscheidend! Nachfolgend die Förderkurve einer 1-Kolben-Hochdruckpumpe:




Der Overflow bricht bei diesem Pumpentyp – die in kostengünstigen Kleinanlagen angeboten werden – taktmäßig zusammen. Das heißt die Membrane steht immer wieder ohne Überströmung unter Druck! Die Standzeit einer solchen Membrane ist erwartungsgemäß eher gering.

Förderkurve einer 3-Kolbenpumpe:

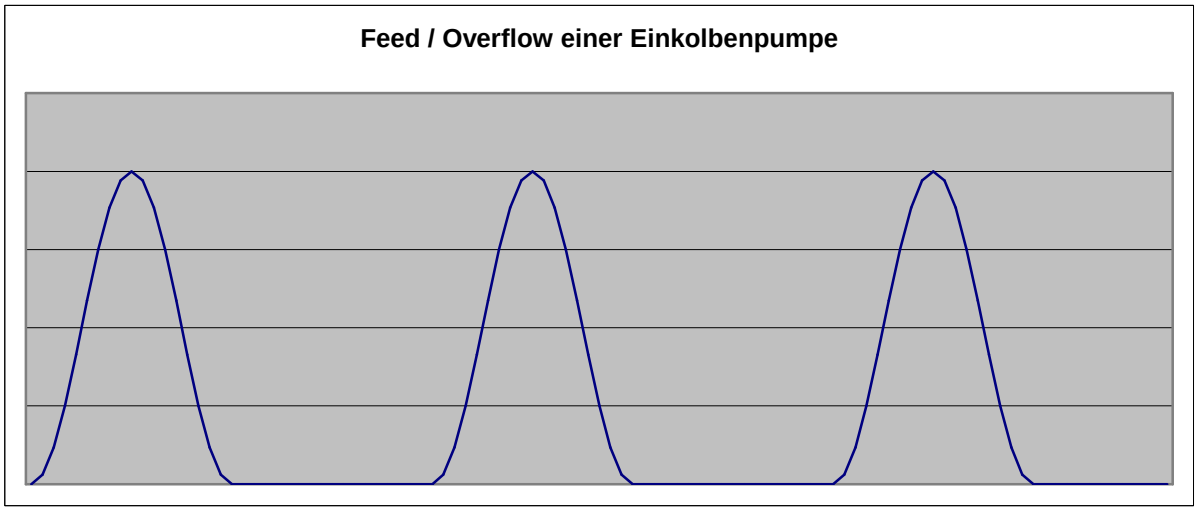


Bei 3-Kolbenpumpen ist der Overflow bereits wesentlich gleichmäßiger; ein komplettes Zusammenbrechen bis zum Stillstand ist nicht mehr gegeben. Die Membranen dieser Anlagen haben bei Einhaltung des minimalen Overflows bereits eine recht passable Standzeit.

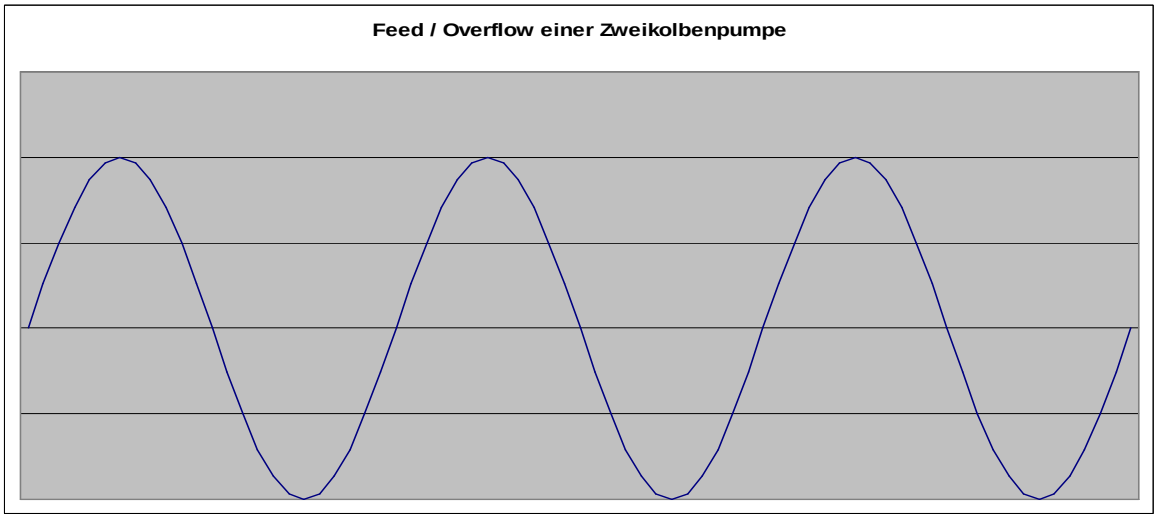
**Anlagen mit Energierückgewinnung:**

**Energieverbrauch:**

Hier sind Systeme mit 1 und 2- Stufenkolben-Hochdruckpumpen im Einsatz. Der Energiebedarf dieser Systeme wird durch die Energierückgewinnung aus dem Retentat reduziert, so dass diese Anlagen im optimalen Bereich zwischen 4 und 5 Wh/l Energie benötigen. Auch bei diesen Systemen pulsiert der Förderstrom sehr stark und kommt taktmäßig zum Stillstand.




Gleichzeitig müssen teilweise Spezial-Membranen verwendet werden (Katadyn) und die in den Doppelkolben-Anlagen verwendeten servo-hydraulisch gesteuerten Umschaltventile geben immer wieder Anlass zu Ausfällen.




Aufgrund der durch die Stufenkolbenpumpe festgelegten Volumenverhältnisse von Feed:Retenetat:Permeat können diese Anlagen nur an einem bestimmten Arbeitspunkt (Salzgehalt und Temperatur) wirklich optimal arbeiten.

## d) Optimierung mittels Rezirkulation (kontinuierlicher Überströmung)

**Grundlage der kontinuierlichen Überströmung am Beispiel einer Anlage mit SW30-2540er Membrane ( die gängigste Membrane auf dem Markt!)**

**nebenstehend die technische Daten und Einsatzgrenzen der Membrane:**

| Daten SW30-2540 | | | |
|---|---|---|---|
| **Area** | | **2,6** | **m²** |
| **Leistung** | **Druck** | **55,2** | **bar** |
| | **Permeat** | **108** | **l/h** |
| | **Feed** | **1350** | **l/h** |
| | **Rejection** | **99,4** | **%** |
| | **Salz** | **32** | **g/l** |
| | **Temp.:** | **25** | **℃** |
| **Limiten** | **Overflow >=** | **227** | **l/h** |
| | **Recovery <** | **13** | **%** |

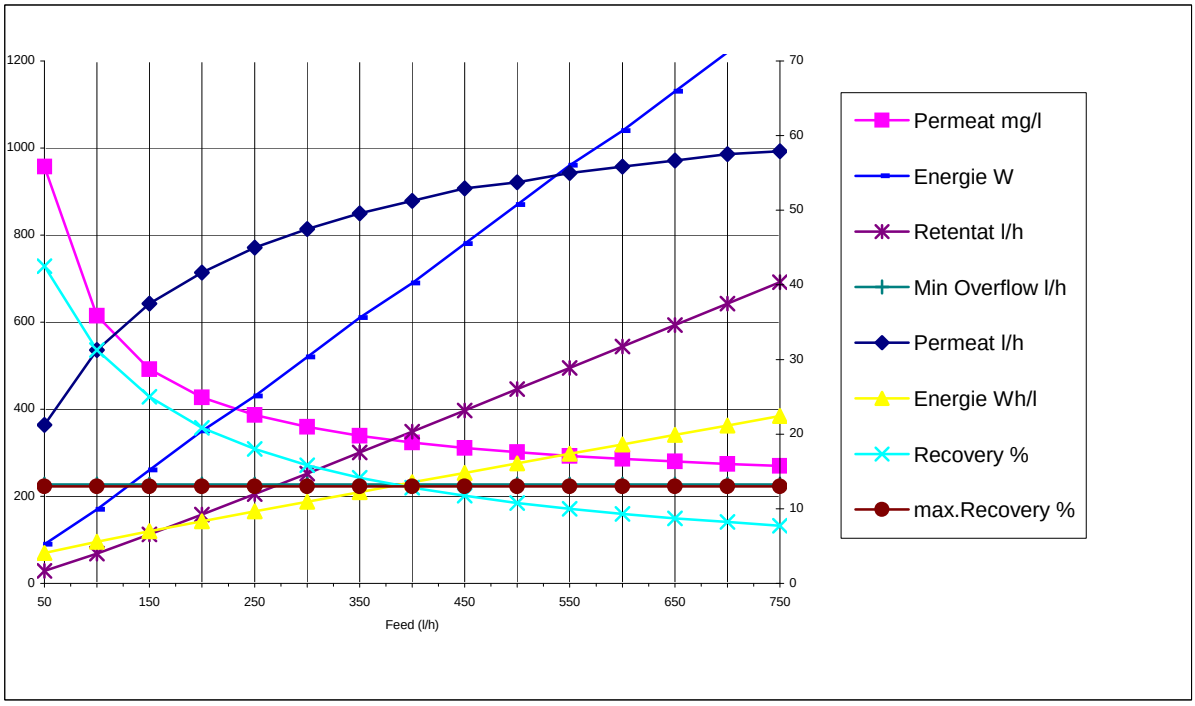
Der Hauptenergieverbrauch einer kleinen RO-Anlage entsteht durch die Feedmenge die auf den notwendigen Druck gebracht werden muss. Da bei den kleinen Anlagen die Feedmenge auch für den Overflow (Überströmung) sorgen muss gilt:
***Feed = Retentat + Permeat (l/h***) und weiter: ***Overflow = Retentat***

Wird nun durch eine Rezirkulation der für die Membrane notwendige Overflow erzeugt so kann der Feed entsprechend reduziert werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit auch die maximalste Recovery-Rate zu unterschreiten und es können auch stark pulsierende Hochdruckpumpen eingesetzt werden ohne dass der Overflow zu gering wird. Wird die Rezirkulation im Hochdruckkreislauf ausgeführt, so muss nur der hydraulische Wiederstand der Membrane als Antriebsenergie aufgewendet werden (bei 300l/h Überströmung an einer SW30-2540 = 2m WS => Energieverbrauch < 10W!).

**Der Einfachheit halber betrachten wir nunmehr eine Anlage mit folgenden Eckdaten:**

| | | |
|---|---|---|
| Druck: | 50 | bar |
| Meerwasser | 36 | g/l |
| | 20 | ℃ |
| Pumpe | 80 | % |
| Fouling | 85 | % |

**Diagramm für verschiedene Feedwerte:**



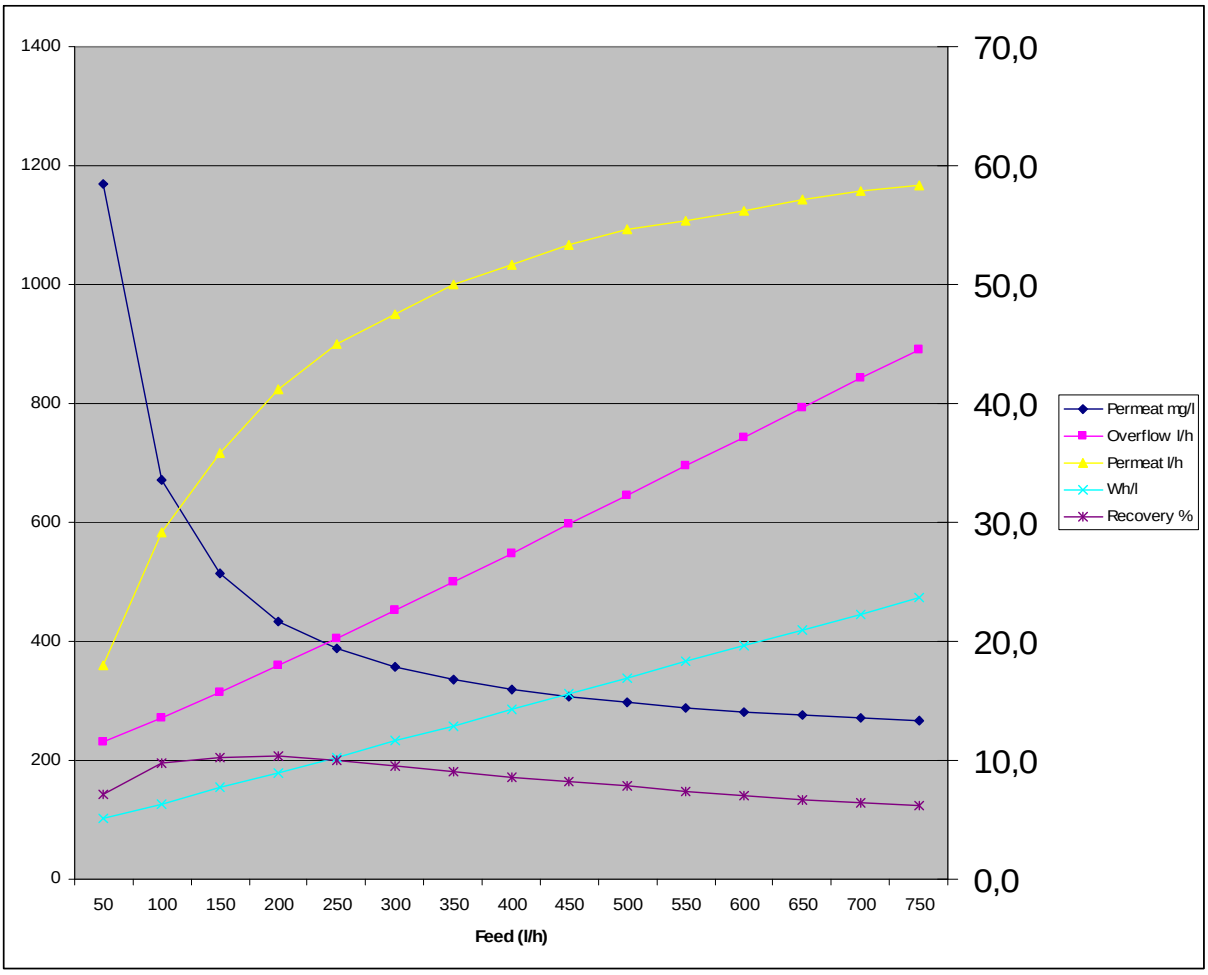
Aus obigem Diagramm ist zu erkennen dass erst ab einem Feed von ca. 250l/h die notwendige Überströmung erreicht wird! Daraus resultieren die folgenden Werte:

| Permeat | Salz im Permeat | Antriebsleistung | spez. Energieverbrauch | Recovery-Rate |
|---|---|---|---|---|
| 45 l/h | 387 mg/l | 430W | 9,6 Wh/l | 18 % |

Ebenso wird erst bei einem Feed von ca. 400/h die maximalst zulässige Recovery-Rate unterschritten! Daraus resultieren dann die folgenden Werte:

| Permeat | Salz im Permeat | Antriebsleistung | spez. Energieverbrauch | Recovery-Rate |
|---|---|---|---|---|
| 51 l/h | 324 mg/l | 690W | 13,5 Wh/l | 12,8 % |

Sorgen wir nunmehr für eine Rezirkulation von nur 200l/h in der Anlage so ändern sich die Werte gem. nach folgendem Diagramm:




Aus obigem Diagramm ist zu erkennen dass bereits ab einem Feed von 50l/h sowohl der notwendige Overflow erreicht wird als auch die maximalste Recovery-Rate unterschritten wird.

Nun wird es möglich die Anlage auch mit geringem Feed zu betreiben! Als Richtwerte können die folgenden Werte angesehen werden:

| Permeat | Salz im Permeat | Antriebsleistung | spez. Energieverbrauch | Recovery-Rate |
|---|---|---|---|---|
| 35,8 l/h | 515 mg/l | 277W | 7,7 Wh/l | 10,2 % |

## Zusammenfassung:

Durch eine einfache Rezirkulation kann der spezifische Energieverbrauch von 13,5 Wh/l auf 7,7Wh/l Permeat gesenkt werden.
Eine Besonderheit stellt hierbei die vom Autor entwickelte Membranselbstreinigung dar, die in den drinKINK-Anlagen der Fa. H2O-Factory realisiert wird. Diese Selbstreinigung entspricht hierbei einer Überströmung (= Rezirkulation + Feed) von über 1.000l/h!

## e) Optimierung durch Einbau einer Energierückgewinnung

Wird eine Anlage mit interner Rezirkulation wie im vorigen Kapitel beschrieben realisiert, so kann diese mit einer zusätzlichen Energierückgewinnung aus dem Retentatstrom ausgebaut werden.
Dabei kann aufgrund der Rezirkulation die Hochdruckpumpe als Ein-Kolbenpumpe ausgeführt werden.

**Ergebnis:**

Als Ergebnis dieser Überlegung konnte eine RO-Anlage mit einem spezifischen Energieverbrauch von < 5 Wh/l, einer Überströmung von > 1.000l/h und einer Recovery-Rate von < 10% in Verbindung mit den handelsüblichen 4“-Membranen als Kompaktanlage realisiert werden! Es wurden 3 Prototypen mit Ein-Stufenkolben-Hochdruckpumpe, dichtungsloser Rezirkulationspumpe und einer SW30-4021 in konventioneller Fertigung (CNC-Dreh-und Frästeile) gebaut. Mit dieser Anlage konnten die erwarteten Werte realisiert werden!
Die Anlagen wurden als Kompaktanlagen in einem Gehäuse realisiert!

# ANHANG 5

## HERSTELLER KLEINER RO-ANLAGEN

**Einleitung**

In diesem Kapitel wurde versucht die bekannten Hersteller kleiner RO-Anlagen tabellarisch zu erfassen.
Soweit möglich und bekannt sind auch die z.Zt. der Drucklegung aktuellen Preise aufgeführt.
Leider ändert sich der Markt so schnell und es tauchen jedes Jahr neue Hersteller und Händler auf dass diese Liste vermutlich bereits in kürzester Zeit überholt ist. Für aktuelle Modelle und/oder Preise wird empfohlen die Hersteller zu kontaktieren!

Ich betone ausdrücklich dass dieses Kapitel nur meine persönliche subjektive Meinung und keinerlei Wertung der Hersteller darstellen soll!

Ich übernehme keine Haftung für die gemachten Angaben und deren Richtigkeit!

Hersteller die weitere Angaben aufgeführt haben wollen, oder eine Berichtigung wollen setzen sich bitte mit mir in Verbindung!

© Das Copyright der Graphiken und Bilder liegt bei den genannten Herstellern!

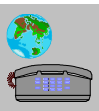
Leider!!!

Aufgrund einer Abmahnung ist es mir nicht länger erlaubt die Bilder eines Herstellers zu verwenden.

Damit’s keine weiteren Unstimmigkeiten gibt habe ich daher alle Bilder aus diesem Kapitel entfernt.

## AQUA MARINE INC.

PO-Box 55
Deer Harbor
WA 98243-0055 USA



**USA**
**+1-360 376 3091**
**http// www. aquamarineinc.net**
**EU unbekannt**

Aquamarine ist ein amerikanischer Anlagenhersteller, der Kleinanlagen mit konventioneller Technik als Baukasten liefert.

Als Besonderheit liefert Aquamarine RO-Anlagen mit Verbrennungsmotoren als Antrieb.

Ein deutscher Lieferant ist leider nicht bekannt.

## AQUAGIV GMBH.

Gollierstrasse 70.
80339 München
Germany

**Germany**
**+49-89-1250 90001**
**http// www.aquagiv.de**

**Fertigungstiefe:** **AQUAGIV stellt grössere vormontierte RO-Anlagen her und vertreibt die türkischen DELFIN RO-Kleinanlagen.**

**Marken:** **DELFIN (www.delfindenizcilik.com)**

In Grundgestell montierte konventionelle Anlagen mit separaten Vorfiltern und 230V-Motor.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mini 30 | 30 | 230 | 550W | | 700 | 420 | 350 | | € |
| Mini 60 | 60 | 230 | 550W | | 700 | 420 | 350 | | € |

**BLUE-Serie**

Als Baukasten gelieferte RO-Anlagen mit Danfoss-Hochdruckpumpe

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50-230 | 50 | 230 | 750W | | | | | | € 8.318,- |
| 80-230 | 80 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 9.389,- |
| 140-230 | 140 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 10.460,10 |
| 210-230 | 210 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 11.531,10 |

**Platin-Serie**

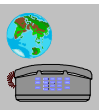
Komplett im Rak vormontierte automatische Anlage mit Touchscreen-Steuerung und Danfoss-Pumpe

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50-230V-m | 50 | 230 | 1,5 kW | | | | | | € 14.266,- |
| 80-230V-m | 80 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 14.268,- |
| 140-230V-m | 140 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 15.339,- |
| 210-230V-m | 210 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 17.481,- |

TFT-Steuerpanel incl. Software zur Platin-Serie € 2.963,10-

## AQUATEC JOACHIM MATZ

Aquatec
JM Yachttechnik
Trakehner Kehre 6e
D-22175 Hamburg



**Germany**
**+49-151 50933262**
**http// www.jm-yachttechnik.de**

**Fertigungstiefe:** **AQUATEC stellt individuelle Kleinanlagen her und verwendet hierbei eine der besten mir bekannten Hochdruckpumpen (Eigenfertigung!)**

**Joachim Matz ist langjähriger Langfahrt-Segler und damit wohl eine der ersten Adressen wenn's um kompetente Beratung bei Kauf und Einbau eines Watermakers geht.**

**Seine konventionell aufgebauten Anlagen gehören in Verbindung mit der von Ihm gefertigten Hochdruckpumpe zum Besten, preiswertesten und solidesten das ich kenne!**

## ECHO-MARINE LTD.

1st. Ave. South
Chaguaramas
Trinidad W.I.

**TRINIDAD**
**+001-868-634-2027**
**http// www. Wassermacher.com**
**EU: differse**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **$ECH_2O$-Tec.**

**$ECH_2O$- DML**

Baukastenanlagen bestehend aus qualitativ hochwertigen Kolbenhochdruckpumpen mit Riemenantrieb und Gleichstrommotor, Druckrohr, Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!), Bedienpaneele.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200-DML1 | 32 | 12,5 | | 20 | | | | | € 3.920,- |
| 240-DML1 | 42 | 12,5 | | 27 | | | | | € 3.920,- |
| 260-DML1 | 49 | 12,5 | | 38 | | | | | € 3.920,- |
| 430-DML1 | 68 | 25 | | 39 | | | | | € 4.140,- |

**$ECH_2O$- AML**

Baukastenanlagen bestehend aus qualitativ hochwertigen Kolbenhochdruckpumpen mit direkt gekoppeltem Starkstrommotor, Druckrohr, Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!), Bedienpaneele.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 260-AML1 | 49 | 230 | 1,5kW | | | | | | € 3.930,- |
| 390-AML1 | 60 | 230 | 2,5kW | | | | | | € 3.925,- |

**$ECH_2O$- ACL**

Kompaktanlagen bestehend aus qualitativ hochwertigen Kolbenhochdruckpumpen mit direkt gekoppeltem Starkstrommotor, Druckrohr, Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!), Bedienpaneele.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900-ACL2 | 140 | 230 | | | | | | | € 5.300,- |
| 1500ACL4 | 260 | 230 | | | | | | | € 6.885,- |

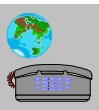
**$ECH_2O$- PRO**

Kompaktanlagen bestehend aus qualitativ hochwertigen Kolbenhochdruckpumpen, und separatem Druckrohr und Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!),.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900-PRO2 | 140 | 230 | 1,5 | 9,2 | | | | | € 6.180,- |
| 1500-PRO4 | 227 | 230 | 1,5 | 9,2 | | | | | € 7.250,- |

## DESSALATOR.

ZI des 3 Moukins
282 rue des Cistes
Batiment Euro 92
06600 Antibes
France



**Frankreich**
**+33-493 950455**
**http// www.dessalator.fr**
**EU: differse**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen und kleine Baukastenanlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**12 / 24V**
Baukastenanlagen bestehend aus Kolbenhochdruckpumpen in Ni-Bronze mit Riemenantrieb und Gleichstrommotor, Druckrohr, Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!), Bedienpaneele.

**D30 / D60 / D100**

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30l | 30 | 12/24 | | 370W | | | | | € 5.835,- |
| 60 | 60 | 12/24 | | 370W | | | | | € 7.207,- |
| 100 | 100 | 12/24 | | 600W | | | | | € 8.247,- |
| 160 | 160 | 24 | | 1,5kW | | | | | € 9.963 |

**DUO**

Baukastenanlagen bestehend aus Kolbenhochdruckpumpenin Ni-Bronce mit Riemenantrieb und 2 Motoren: Gleichstrommotor + 230/400V-Motor, Druckrohr, Vorfiltern (ohne Aktivkohlefilter!), Bedienpaneele.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preise excl. MWSt! |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 60 | 12/230 | 370W | 750W | | | | | € 8.237,- |
| 100 | 100 | 12/230 | 600W | 1,1kW | | | | | € 9.138,- |
| 160 | 160 | 24/230 | 1,2kW | 1,5kW | | | | | € 13.976,- |

## EXCEL-WATER-TECHNOLOGIES INC.

FCI Watermakers Inc.
Santa Ana CA 92707
USA

**USA**
**+1 714 850 0123**
**http// www. excelwater.com**
**www.fciwatermakers.com**
**EU nicht bekannt**

**Fertigungstiefe:** **EXCEL vertreibt die Anlagen von FCI und Katadyn in USA**
**kleinere industrielle RO-Anlagen**

**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & vormontierte Kompaktanlagen**

**Marken:**

**ZE**

In Grundgestell montierte konventionelle Anlagen mit separaten Vorfiltern und 110V-Motor.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis (2007) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z400 | 60 | 115 | | | | | | | $ 2.995,- |
| Z800 | 120 | 115 | | | | | | | $ 3.995,- |
| Z1500 | 200 | 115 | | | | | | | $ 4.995,- |

**A216-S**

In Grundgestell montierte halbautomatische Anlagen mit separaten Vorfiltern und 110V-Motor.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis (2007) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 30 | 220 | 1,65kW | | | | | | $ 7.050,- |
| 400 | 60 | 220 | 1,65kW | | | | | | $ 7.625,- |
| 600 | 90 | 220 | 1,65kW | | | | | | $ 8.150,- |
| 800 | 120 | 220 | 1,65kW | | | | | | $ 9.295,- |

**MQ626-S**

In Grundgestell montierte halbautomatische Anlagen mit Vorfiltern und 110V-Motor.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis (2007) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 600 | 90 | 115 | 2 | | | | | | $ 9.595,- |
| 1000 | 160 | 115 | 2 | | | | | | $ 11.275,- |
| 1500 | 240 | 115 | 2 | | | | | | $ 12.995,- |

Besonderheiten: Bieten den PUR PowerSurvivor 40E für $ 2.599,- an!

## H2O-FACTORY GMBH & CO KG.

Ferdinand-Porsche-Strasse 5/1
D-79211 Denzlingen

Deutschland
+49-7666-8820027
Fax: +49-7666-8820227
http// www.h2o-factor.com

**Die H2o-Factory fertigt die von mir entwickelten Anlagen mit erhöhter Membranselbstreinigung!**

**Nach dem schwäbischen Sprichwort: "Jedem Narre gfallt sei Kapp" möchte ich an dieser Stelle von Eigenlob und parteiischer Stellungsnahme absehen und die Anlagen der H2O nur extrem kurz vorstellen!**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **Kompaktanlagen**

**Marken:**

**eX2**
kompakteste mir bekannte Kleinanlage mit erhöhter Membranselbstreinigung, geringem Energieverbrauch und geringem Gewicht.
Leistung: 10 – 30l/h
Spannung: 12V DC und 24V DC

**dK4**
Grössere industrielle Kompaktanlagen ebenfalls mit der erhöhten Membranselbstreinigung.
Teilweise extrem tiefer Energieverbrauch!
Leistung: 60 – 330 l/h
Spannung: 12V DC, 24V DC, 230V AC und 400V AC
Besonderheit: auf Wunsch als Vollautomatikanlagen mit SIEMATIC®-Industreisteuerung

## HP HIGH PRESSURE S.R.L.

Via Fratelli Cerri 16
I-20020Zibo San Giacomo-Milano

**ITALIEN**
**+39-02-9000-5369**
**http// www. hpwatermaker.it**
**D: VA-Marine Handel GmbH**
**Tel.: +49-2551-864674**
**www.va-marine.de**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:**

**UC-M**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD-Kolben-Pumpe aus Bronze und angeflanschten Motoren in 12V, 24V und 230V-Ausrüstung. Vorfilter separat.
Besonderheit: Motoren mit Kühlmantel (patentiert???)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UCM35-12 | 35 | 12 | 0,3 | 25 | 60 | 28 | 26 | 35 | € 5.940,- |
| UCM35-24 | 35 | 24 | 0,2 | 10 | 60 | 28 | 26 | 25 | € 5.940,- |
| UCM35-230 | 35 | 230 | 0,75 | | 60 | 28 | 26 | 25 | € 6.900,- |
| UCM70-230 | 70 | 230 | 0,75 | | 60 | 28 | 26 | 45 | € 9.450,- |

**UC-A**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit halbautomatischer Bedienung; konventionelle HD- Kolben-Pumpe aus Bronze und angeflanschten Motoren in 12V, 24V und 230V-Ausrüstung. Vorfilter separat.
Besonderheit: Motoren mit Kühlmantel (patentiert???)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UCA35-12 | 35 | 12 | 0,3 | 25 | 60 | 28 | 26 | 35 | € 9.540,- |
| UCA35-24 | 35 | 24 | 0,2 | 10 | 60 | 28 | 26 | 25 | € 9.450,- |
| UCA35-230 | 35 | 230 | 0,75 | | 60 | 28 | 26 | 25 | € 10.380,- |
| UCA70-230 | 70 | 230 | 0,75 | | 60 | 28 | 26 | 45 | ??.???,- |

**SC-M**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD- Kolben-Pumpe und angeflanschten 230V Norm-Motoren. Besonderheit: Motoren als Option mit Kühlmantel (patentiert???)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC-M70 | 70 | 230 | 1,8 | | 106 | 43,5 | 43 | 79 | € 11.280,- |
| SC-M140 | 140 | 230 | 1,8 | | 106 | 43,5 | 43 | 86 | € 13.080,- |
| SC-M260 | 260 | 230 | 1,8 | | 106 | 54 | 43 | 86 | € 13.080,- |

**SC-A**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit automatischer Bedienung; konventionelle HD- Kolben-Pumpe und angeflanschten 230V Norm-Motoren. Besonderheit: Motoren als Option mit Kühlmantel (patentiert???)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SC-A70 | 70 | 230 | 1,8 | | 106 | 43,5 | 43 | 79 | € 14.040,- |
| SC-A140 | 140 | 230 | 1,8 | | 106 | 43,5 | 43 | 86 | € 16.040,- |
| SC-A260 | 260 | 230 | 1,8 | | 106 | 54 | 43 | 86 | € 20.203,- |

**ELITE**
In Rahmen vormontierte grosse Anlagen mit automatischer Bedienung; konventionelle HD- Kolben-Pumpe und angeflanschten 230V Norm-Motoren.
Besonderheit: Motoren als Option mit Kühlmantel (patentiert???)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 200 | 230 | 5,5 | | 120 | 110 | 76 | | |
| 400 | 400 | 230 | 5,5 | | 120 | 110 | 76 | | |
| 600 | 600 | 230 | 7 | | 120 | 110 | 76 | | |
| 800 | 800 | 230 | 7 | | 120 | 110 | 76 | | |
| 1000 | 1000 | 230 | 7 | | 120 | 110 | 76 | | |

Besonderheiten HP liefert auch Zubehör wie Kohlefilter, Sandfilter, UV-Sterilisatoren etc.

## HORIZON REVERS OSMOSIS

PO-Box 5463
Carson CA 90745-5463
USA

**USA**
**+1-310-631-6300**
**http// www. Hrosystems.com**
**EU Triton-Format**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **SeaFari.**

**SeaFari-MINI**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD-Pumpe und angeflanschten Motoren in 12V, und 230V-Ausrüstung. Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 170 | 27 | 12 | 0,5 | 40 | | | | 32 | $ 4.180,- |
| 350 | 55 | 230 | 2 | | | | | 48 | |

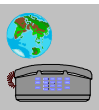
**SE-M**
Komplett als Baukasten gelieferte Anlage mit **Druckerhöhungsmodul** (Booster-Pump).

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEM200 | 32 | 12 | 0,15 | 13 | | | | 61 | $???,- |
| SEM300 | 47 | 12 | 0,25 | 20 | | | | 65 | $???,- |
| SEM400 | 65 | 12 | 0,30 | 22 | | | | 68 | $???,- |
| SEM500 | 80 | 230 | 0,75 | 4 | | | | 72 | $???,- |
| SEM600 | 95 | 230 | 0,75 | 4,2 | | | | 73 | $???,- |

**SE-C**
Anlage wie Typ SE-M aber mit in Rahmen montierter HD-Pumpe, Vorfilter, Bedieneinheit etc; Membranen separat.
Techn. Daten wie Model SE-M

## IDROMAR INTERNATIONAL

Via Piemonte 14
20098 S.Giuliano Milanese (MI)
Italy



**Italien**
**+39-02 982-81631**
**http// www. Idromar.tv**
**D: VA-Marine Handel GmbH**
**Tel.: +49-2551-864674**
**www.va-marine.de -**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Kompaktanlagen**
**Marken:** **.**

### MINI COMPACT JUNIOR

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD-Pumpe und angeflanschten Motoren in 230V-Ausrüstung.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis inkl. MWSt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC1J | 65 | 230 | 1,5kW | | 85 | 40 | 35 | 70 | € 8.092,- |
| MC2J | 130 | 230 | 1,5kW | | 85 | 40 | 35 | 90 | € 10.234,- |
| MC3J | 180 | 230 | 1,5kW | | 85 | 40 | 35 | 100 | |

### MINI COMPACT SENIOR

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD-Pumpe und angeflanschten Motoren in 230V-Ausrüstung.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis inkl. MWSt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC5S | 250 | 400 | 4 kW | | 90 | 48 | 55 | 120 | |
| MC9S | 375 | 400 | 6 kW | | 98 | 48 | 55 | 140 | € 10.234,- |

## KATADYN PRODUKTE AG

Birkenweg 4
CH-8304 Wallisellen
Schweiz

**Schweiz**
**+41-44-839-2111**
**http// www. katadyn.ch**
**D: Schulz-Hohenstein Soehne**
**Tel.: +49-203-352044**

**Fertigungstiefe:** **grösster Hersteller für mobile Klein-Wasseraufbereiter**
**Kleinanlagen:** **Übernahme der PUR-Anlagen 2005**
**Marken:** **PUR-WATER / POWER-SURVIVOR.**

**SURVIVOR 06 und SURVIVOR 35**
Komplette kompakte Kleinanlagen nach patentiertem Verfahren mit Energierückgewinnung. Einzige Anlagen mit Handantrieb!
Erfordern Spezial-Membrane.
Ursprünglich für das amerikanische Militär entwickelt.

**POWER-SURVIVOR PS40E**
Komplette kompakte Kleinanlagen nach patentiertem Verfahren mit Energierückgewinnung und 12 oder 24V-Antrieb. Vorfilter separat!
Erfordern Spezial-Membrane.

| l/h | (V) | (A) | L(cm) | B(cm) | H(cm). | Gewicht (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,7 | 12 | 4 | 45 | 41 | 15 | 11,3 | € 3.199,- |

**POWER-SURVIVOR PS80E**

| l/h | (V) | (A) | L | B | H. | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,9 | 12 | 8 | 53 | 43 | 24 | € 4.199,- |

**POWER-SURVIVOR PS160E**

| l/h | (V) | (A) | L | B | H. | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 25,4 | 12 | 18 | 53 | 43 | 24 | € 4.888,- |

## MATRIX UTILITIES CO.

3255 S.W. 11th Ave.
Fort Lauterdale
Florida 33315 / USA

**USA**
**+001-954-524-5120**
**http// www. Matrixwater.com**

### Matrix baut RO-Anlagen für den Marine- und Land-Bereich

**Emerald-Serie**

In einem Rak vormontierte kleine Komplettanlagen mit 230V-Antrieb und 60 – 165l/h Leistung.
Nickel-Bronze-Hochdruckpumpen!

**Silver-Serie**

Wie vor jedoch 71 – 12.000 l/h Leistung

## OFFSHORE MARINE LABORATORIES

2010 West 135th St.
Gardena CA 90249

**USA**
**+1-310-352-31000**
**http// www. Offshore-marine.com**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Besonderheit: tragbare Kleinanlage mit Benzinmotor**
**Marken:** **SeaStar**

Einfache Baukastenanlage mit Einkolben-Titan-Hochdruckpumpe und 12V DC, 24V DC, 110V 60Hz und 230V 50Hz - Motoren

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 20 | 12 | | 14 | | | | 25 | € 3.990,- |
| 200 | 28 | 12 | | 14 | | | | 28 | € 4.600,- |
| 250 | 35 | 12 | | 18 | | | | 28 | € 5.070,- |

**Sea Quencher**
Wie Sea Star, aber komplett in Gehäuse montiert.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 28 | 12 | | 14 | 70 | 26 | 31 | 25 | € 4.995,- |
| 250 | 35 | 12 | | 18 | 70 | 25 | 31 | 28 | € ????,- |

**AEGEAN**
Anlage mit Titan-Hochdruckkolbenpumpe und 110V / 230V AC-Antrieb komplett in Rahmen montiert

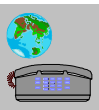
| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 400 | 62 | 230 | 1,1 | | 51<br>+ 110 | 67<br>7 | 56<br>7 | 60 | € 9.067,- |

**BALTIC**
Baukastenanlage mit Kontrollkasten und direktgetriebener Titan-Hochdruckkolbenpumpe mit 230V AC-Motor

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 500 | 70 | 230 | 1,1 | | 47 | 25 | 25 | 70 | € 9.284,-,- |

## SCHENKER

via Delle Repubbliche Marinaie 124
I-80147 Napoli
Italien



**ITALIEN**
**+39-081-5593-505**
**http// www. schenker.it**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **SMART , MODULAR, RACK**

**SMART**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung und „Clark"-Booster-Pump. Vorpumpe und Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Grund-Preis* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 | 12 | 0,1 | 9 | 68+34 | 24+19 | 24+35 | 32 | € 5.034,- |
| | 60 | 12 | 0,25 | 20 | 118+34 | 24+19 | 24+35 | 36 | € 6.226,- |
| | 100 | 12 | 0,4 | 34 | 120+34 | 35+19 | 25+35 | 43 | € 8.210,- |

**MODULAR**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung und „Clark"-Booster-Pump. Vorpumpe und Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Grund-Preis* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 35 | 12 | 0,1 | 8 | | | | 34 | € 5.959,- |
| 60 | 60 | 12 | 0,25 | 20 | | | | 38 | € 7.150,- |
| 100 | 100 | 12 | 0,45 | 35 | | | | 52 | € 8.998,- |
| 150 | 150 | 230 | 0,6 | | | | | 54 | € 10.993,- |
| 210 | 210 | 230 | 0,95 | | | | | 68 | € 14.304,- |

**RACK**

In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung und „Clark"-Booster-Pump. Vorpumpe und Vorfilter integriert.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 35 | 12 | 0,1 | 8 | | | | 36 | € 5.684,- |
| 60 | 60 | 12 | 0,25 | 20 | | | | 41 | € 6.964,- |

* Grundpreis ohne Spülsystem und Bedieneinheit

## SEA-RECOVERY

PO-Box 5288
Carson CA 90745-5288
USA

**USA**
**+1-310-637-3400**
**http// www. searecovery.com**
**EU OCEAN-Marine**
**Tel: +49-40-219-1042**
**www.ocean-marine.de**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Anlagen / verwenden die FCI-Pumpe** (s. "EXCEL..")
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **AQUA WHISPER, AQUA MATIK, ULTRA WHISPER**

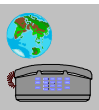
**MINI**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit manueller Bedienung; konventionelle HD-Pumpe und angeflanschten Motoren in 12V, und 230V-Ausrüstung. Vorfilter separat.
Baugleich den **Horizon Revers Osmosis** –SeaFari-MINI Anlagen!

**AquaWhisperCompakt AWC**
Baugleich den **Horizon Revers Osmosis** –SE-C Anlagen!

**AquaWhisperModular AWM**
Baugleich den **Horizon Revers Osmosis** –SE-M Anlagen!

## SELMAR-TECHNOLOGIES

Via Oberdan 119A
I-91025 Marsala (TP)



**ITALIEN**
**+39-0923-721-408**
**http// www. selmar.it**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Gross-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **ATLANTIC, BASIC, PAZIFIK, SYNTHESI, POGRESS, CORAL, VICTORY**

### SYNTHESI SY

In Rahmen vormontierte Komplett-Anlagen mit Bedieneinheit, Booster-Pump in 230V-Ausrüstung.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SY211 | 30 | 230 | 1,5?? | | 70 | 90 | 45 | 57 | ????,- |
| SY212 | 60 | 230 | 1,5?? | | 70 | 90 | 45 | 62 | |
| SY213 | 90 | 230 | 1,5?? | | 70 | 90 | 45 | 67 | |

### BASIC BA

In Rahmen vormontierte Komplett-Anlagen mit Bedieneinheit, HD-Kolben-Pumpe in 230V-Ausführung. Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BA200 | 30 | 230 | 0,7?? | | 70 | 30 | 23 | 32 | ????,- |
| BA400 | 60 | 230 | 0,7 | | 70 | 30 | 23 | 37 | |

### PROGRESS

In Rahmen vormontierte Anlagen mit Bedieneinheit, HD-Kolben-Pumpe in 12V-Ausführung. Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MC40P | 16 | 12 | 0,25 | 18 | 64 | 25 | 23 | 20 | ????,- |
| MC-LIGHT | 25 | 12 | 0,35 | 28 | 52 | 25 | 29 | 29 | |
| MC80P | 30 | 12 | 0,35 | 28 | 64 | 25 | 23 | 24 | |
| MC120P | 50 | 12 | 0,4 | 32 | 64 | 25 | 23 | 28 | |

**CORAL ECR**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit Bedieneinheit.
HD-Kolben-Pumpe in 230V-Ausführung und Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ECR30 | 30 | 230 | 1,8 | | 70 | 35 | 23 | 45 | ????,- |
| ECR60 | 60 | 230 | 1,8 | | 70 | 35 | 23 | 50 | ????,- |
| ECR90 | 90 | 230 | 1,8 | | 70 | 35 | 23 | 55 | ????,- |
| ECR150 | 150 | 230 | 1,8 | | 118 | 35 | 23 | 55 | ????,- |
| ECR220 | 220 | 230 | 2,2 | | 118 | 35 | 23 | 62 | ????,- |
| ECR280 | 280 | 230 | 2,2 | | 118 | 35 | 23 | 69 | ????,- |

**VICTORY ECF**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit Bedieneinheit (= ECR)
HD-Kolben-Pumpe mit **Riemenantrieb durch Verbrennungsmotor** und Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ECF30 | 30 | RIEMENTRIEB | | | 70 | 35 | 23 | 30 | ????,- |
| ECF60 | 60 | RIEMENTRIEB | | | 70 | 35 | 23 | 35 | ????,- |
| ECF90 | 90 | RIEMENTRIEB | | | 70 | 35 | 23 | 40 | ????,- |
| ECF150 | 150 | RIEMENTRIEB | | | 118 | 35 | 23 | 34 | ????,- |
| ECF220 | 220 | RIEMENTRIEB | | | 118 | 35 | 23 | 46 | ????,- |
| ECF280 | 280 | RIEMENTRIEB | | | 118 | 35 | 23 | 53 | ????,- |

**ATLANTIK**
In Rahmen vormontierte Anlagen mit Bedieneinheit (= ECR)
HD-Kolben-Pumpe mit Riemenantrieb durch Starkstrommotor.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SW5000 | 470 | 400 | 3 | | | | | | ????,- |
| SW7000 | | | | | | | | | |

## SLCE

**S**ociete **L**orientaise de **C**onstruction **E**lektromecanique
ZI de Keryado
38 Rue de Gaillec
F-56312 Lorient

**FRANKREICH**
**+33-297-838-888**
**http// www. slce.net**
**D: Schulz-Hohenstein Soehne**
**Tel.: +49-203-352044**
**www.shipshop.de**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO-Gross-Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **Aqua-Base®, LIVIOL**

### Liviol

Vormontierte Anlagen mit „Clark“-Booster-Pump und separater Zufuhrpumpe in 12V Ausführung.
Vorfilter und Installationskit separat (398,-)

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 15 | 12 | 0,12 | 10 | | | | | € 4.690,- |
| 30 | 30 | 12 | 0,15 | 11 | | | | | € 4.990,- |

### Aqua-Base X

Vormontierte Anlagen mit HD-Kolben-Pumpe und angeflanschtem Motor.
Vorfilter und Installationskit separat

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **XD121** | **30** | **12** | | **31** | | | | | **€ 5.990,-** |
| **XD241** | **30** | **24** | | **25** | | | | | **€ 5.990,-** |
| **XD221** | **30** | **230** | | **6** | | | | | **€ 5.990,-** |
| **XD122** | **50** | **12** | | **31** | | | | | **€ 6.990,-** |
| **XD242** | **60** | **24** | | **25** | | | | | **€ 6.990,-** |
| **XD222** | **60** | **230** | | **6** | | | | | **€ 6.990,-** |
| **XD223** | **90** | **230** | | **6** | | | | | **€ 7.990,-** |

### Aqua-Base Y

Vormontierte Anlagen mit HD-Kolben-Pumpe mit angeflanschtem Motor und Vorfilter separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YC1 | 60 | 230 | 1,5 | | | | | | € 8.490,- |
| YC2 | 120 | 230 | 1,5 | | | | | | € 9.990,- |
| YC3 | 180 | 230 | 2,2 | | | | | | € 11.500,- |

## SPECTRA-WATERMAKERS

20Mariposa Rd
San Rafael CA 94901
USA

**USA**
**+1-415-526-2780**
**http// www. spectrawatermakers.com**
**D: Sea-Concept**
**Willi-Messerschmidt-Str.: 26**
**D-73457 Essingen**
**www.sea-concept.de**

**Fertigungstiefe:** **Tochter der EDINGER-Marine-Zubehör**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen mit Clark-Pump**
**Marken:** **SPECTRA**

**„CLARK-PUMP“**
Die Clark-Pump ist das Herz aller SPECTRA-Anlagen.
Alle Anlagen sind als Baukasten konzipiert und werden nur in Einzelteilen geliefert!

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VENTURA | 24 | 12 | | 9 | | | | 18 | € 6.482 |
| CATALINA | 47 | 12 | | 15 | | | | 28 | € 8.169 |
| NEWPORT400 | 64 | 12 | | 23 | | | | 35 | € 10.615 |
| --700 | 109 | 12 | | 23 | | | | 43 | € 12.092 |
| --1000 | 155 | 12 | | 23 | | | | 50 | € 13.717 |

## TECNICOMAR S.R.L.

C. da Berbaro 78
I-91025 Marsala (TP)

**ITALIEN**
**+39-0923-969-409**
**http// www. tecnicomar.it**
**D: Triton Format**
**Tel.: +49-4106 771 078**
**www.triton-format.com**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO--Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **COMPACT, SAILOR-COMPACT, MINIMAR, SLIM, COMPACT-SPEZIAL**

### MINIMAR

In Gehäuse vormontierte Komplett-Anlagen mit Bedieneinheit, in 12V-Ausführung. HD-Pumpe in Ni-Bronze.
Installationskit separat!

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 25 | 12 | | 22 | 70 | 38 | 25 | 25 | € 3.313,- |
| 400 | 45 | 12 | | 22 | 70 | 38 | 25 | 28 | € 3.800,- |
| 600 | 75 | 24 | | 12 | 70 | 38 | 25 | 31 | € 4.313,- |

### SLIM

Baukasten mit 230V Kolben-HD-Pumpe

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 35 | 230 | 1,5 | | | | | 38 | € 4.774,- |
| 400 | 70 | 230 | 1,5 | | | | | 41 | € 5.505,- |
| 600 | 95 | 230 | 1,8 | | | | | 68 | € 7.113,- |
| 1000 | 160 | 230 | 1,8 | | | | | 73 | € 7.821,- |
| 1500 | 220 | 230 | 1,8 | | | | | 83 | € 7.941,- |

### COMPACT

Konventionell aufgebaute in Rahmen vormontierte Einheit mit 230V Kolben-HD-Pumpe.
Vorfilter und Bedienpanele separat.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 35 | 230 | 1,5 | | | | | 38 | € 5.213,- |
| 400 | 70 | 230 | 1,5 | | | | | 41 | € 5.846,- |
| 600 | 95 | 230 | 1,8 | | | | | 68 | € 6.090,- |
| 1000 | 160 | 230 | 1,8 | | | | | 73 | € 7.405,- |
| 1500 | 220 | 230 | 1,8 | | | | | 83 | € 8.282,- |

### SAILOR-COMPACT

Konventionell aufgebaute in Gehäuse vormontierte Einheit mit 230V Kolben-HD-Pumpe, inkl. Vorfilter und Bedienpanele.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 35 | 230 | 1,5 | | 75 | 48 | 36 | 49 | |
| 400 | 70 | 230 | 1,5 | | 75 | 48 | 36 | 52 | |
| 600 | 95 | 230 | 1,8 | | 75 | 48 | 36 | 55 | |
| 1000 | 160 | 230 | 1,8 | | 117 | 48 | 36 | 64 | |
| 1500 | 220 | 230 | 1,8 | | 117 | 48 | 36 | 68 | |

## WATERMAKERS INC.

2233 South Andews Avenue
Ft Lauterdale Forida 33316
USA

**USA**
**+1-954 467 8920**
**http// www.watermakers.com**
**EU: unbekannt**

**Fertigungstiefe:** **industrielle RO--Anlagen**
**Kleinanlagen:** **konventionelle Baukasten-Anlagen & Kompaktanlagen**
**Marken:** **COMPACT, SAILOR-COMPACT, MINIMAR, SLIM, COMPACT-SPEZIAL**

### ISLANDER

Auf Rahmen vormontierte Komplett-Anlagen mit Bedieneinheit, in 115V-Ausführung mit konventioneller Kolben-HD-Pumpe.
Installationskit separat!

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISL150 | 35 | 115 | | 14 | | | | 55 | |
| ISL300 | 72 | 115 | | 14 | | | | 72 | |
| ISL400 | 108 | 115 | | 14 | | | | 80 | |
| ISL500 | 118 | 115 | | 14 | | | | 85 | |

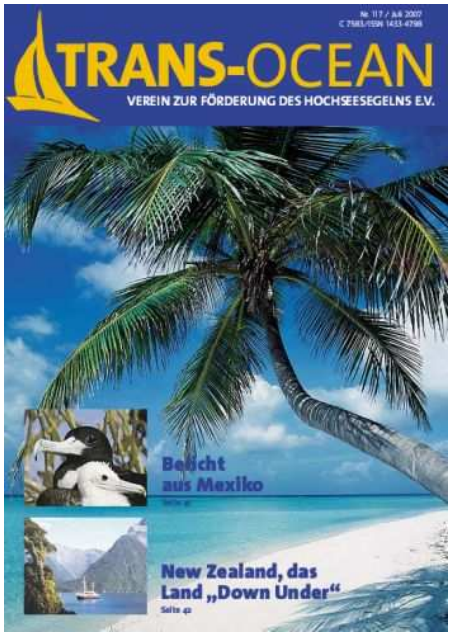
### WATERMAKER SPEZIAL

Als Baukasten gelieferte Komplett-Anlagen mit Bedieneinheit, in 115V-Ausführung mit konventioneller Kolben-HD-Pumpe.

| Typ | l/h | (V) | (kW) Wert | (A) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | Gew. (kg) | Preis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WMS450 | 90 | 115 | 2,5 | | | | | 100 | |
| WMS750 | 160 | 115 | 3,6 | | | | | 105 | |

# ANHANG 6

## ARTIKEL AUS DEM TO-VEREINS-MAGAZIN
## AUSGABE 117 / JULI 2007 / SEITE 53




**Die Trinkwassergewinnung auf Segelbooten**

*Vorspann:*
*Unser Mitglied Hans Bräuer war über 25 Jahre als Chemie-Ingenieur in der industriellen Wasseraufbereitung tätig, bevor er sich im Jahr 2000 mit dem „Segelvirus“ infizierte. Seitdem beschäftigt er sich nur noch mit seinen Hobbys: Espresso, Meerwasserentsalzung und natürlich Segeln! Zum Thema Meerwasserentsalzung pflegt er eine Internetseite und hält, zusammen mit seiner Frau Marianne, Vorträge und führt Seminare durch.*

Artikel:
Trinkwasser auf unseren Sportbooten ist immer knapp.
Oft schleppen wir deshalb Tonnen an Trinkwasser in den sowieso immer zu schweren Booten mit – und dieses Trinkwasser muss dann auch noch frisch gehalten werden! Extremsegler wie Erdmann haben versucht Regenwasser aufzufangen – sinnvoll und sicher ist dies aber nur in regenreichen Gebieten – nicht auf den oft befahrenen Barfussruten. Und auch Erdmann hat in seiner Not dann Trinkwasser aus Meerwasser mittels einer selbstgebauten Destille gewonnen. Trinkwasser wird heute mit einer kleinen RO-Anlage erzeugt – und es gibt zu diesen Anlagen eigentlich keine Alternative! Nun hört man aber in Seglerkreisen immer wieder die unterschiedlichsten Meinungen zu Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wartungsaufwand dieser Anlagen. Während die Einen von ihren Anlage schwärmen, berichten die Anderen nur von Ausfällen und Leistungsschwäche. Recht haben beide Fraktionen!
Eine Umkehrosmose- oder kurz RO-Anlage - und nichts anderes ist die Meerwasserentsalzung - arbeitet eigentlich sehr zuverlässig, langlebig und mit geringstem Wartungsaufwand, wenn man folgende 4 Punkte beachtet:

1) Betrieb der Anlage nur mit sauberem Meerwasser - also nie in Häfen oder Küstennähe!
2) Nach jedem Abschalten kurz mit dem erzeugten Frischwasser spülen - nie mit evtl. chloriertem Leitungswasser oder mit konserviertem Wasser aus einem Vorratstank!
3) Bei längerem Stillstand regelmäßiges Konservieren der Anlage gegen Bakterienbefall
4) Beim Kauf der Anlage unbedingt auf die richtige Auslegung der Komponenten achten.

Während wir Punkt 1 - 3 leicht einhalten können, sind die Meisten bei Punkt 4 nicht in der Lage die Auslegung der angebotenen Anlagen selbst zu beurteilen. Meist wird beim Anlagenkauf auf Preis, Aussehen, auf die Leistung - sprich die angeblich produzierbare Trinkwassermenge - und den Energieverbrauch hierfür geachtet. Ist die Anlage dann im Einsatz so wundert man sich oft, dass die versprochene Leistung nicht erbracht wird und der Energieverbrauch in utopische Höhen klettert! Ursache hierfür sind einfache technische Zusammenhänge, die vom Anlagenhersteller - der ja mit „guten Werten“ glänzen will - meist verschwiegen werden. Wir kennen sogar Anlagen, die zwar die im Prospekt gemachten Werte kurzfristig erreichen - im Dauerbetrieb aber dann durch Leistungsschwäche und Unzuverlässigkeit glänzen, weil sie einfach falsch ausgelegt sind!
Beim Anlagenkauf sollte man also unbedingt auf die folgenden Punkte achten:

a) Trinkwasserleistung: Die Angaben der Trinkwasserleistung (Fachbegriff: Permeat-Leistung) beziehen sich meist auf einen möglichst niederen Salzgehalt - der leider nicht einheitlich genormt ist - von 32g NaCl (Kochsalz) pro Liter und eine Temperatur von 25°C.

Eine auf diese Werte optimierte Anlage - z.B. mit einer SW 2540-Membrane - bringt dann im Mittelmeer, bei Salzgehalten bis 42g/l und Temperaturen von 15°C nicht einmal mehr 50% ihrer Trinkwasserleistung! Und dies dann auch noch mit meist stark erhöhtem Salzgehalt im Trinkwasser!

b) Energieverbrauch: Der Energieverbrauch einer Entsalzungsanlage ist bei der - meist auf unseren Booten herrschenden - Stromknappheit, ein ganz entscheidendes Verkaufsargument der Anlagenhersteller.

Leider sind die gemachten Angaben aber fast immer Augenwischerei! Selbstverständlich hat eine Anlage die, wie unter Punkt a) erwähnt, optimiert ist einen geringen Energieverbrauch. Aber wenn wir in der Praxis dann mit den höheren Salzgehalten der verschiedenen Meeresregionen konfrontiert sind, muss eine Anlage in der Lage sein auch dieses Meerwasser noch zuverlässig zu entsalzen. Und dafür brauchen wir dann einen starken Antrieb! Ausserdem haben die energetisch optimierten Anlagen meist eine zu geringe Förderleistung, was sich dann in einer zu geringen „Überströmung" ausdrückt und gerade diese ist für die langfristige Zuverlässigkeit der Membrane sehr wichtig! Es gibt noch die Anlagen mit Energierückgewinnung, die meist mit einer vorgeschalteten Niederdruckpumpe arbeiten. Bei diesen Anlagen sollte man insbesondere auf die unter Punkt a) gemachten Leistungsangaben sowie den Salzgehalt im Trinkwasser achten. Über die Zuverlässigkeit dieser Anlagen hört man immer wieder kontroverse Meinungen; klagen die Einen über Störungen und Ausfälle der filigranen Umschaltventile und der - für den Dauerbetrieb nicht geeigneten - Vordruckpumpen, so loben Andere den niederen Energieverbrauch und die Zuverlässigkeit dieser Anlagen. Neuerdings werden als Vordruckpumpen auch kleine Kreiselpumpen - die für den Dauerbetrieb geeigneter sind - angeboten. Der eigentlich durch die Energierückgewinnung günstige Energieverbrauch relativiert sich mit diesen energetisch ungünstigen Kreiselpumpen aber wieder. Einen interessanten Praxisbericht von Bobby Schenk findet man hierzu im Internet!

Es werden auch Anlagen mit Antrieb durch den Schiffsdiesel angeboten. Mit diesen Anlagen hat man garantiert immer genügend Antriebsleistung zur Verfügung. Wichtig ist hierbei, dass während des Entsalzungsbetriebs die Drehzahl auf dem vorgegebenen Wert gehalten wird. Sinn machen diese Anlagen nur wenn wir unseren „Jokel" sowieso regelmässig zum Laden der Bordbatterien laufen lassen müssen. Auch sollte man beachten, dass die Energieeffizenz des Schiffsjokels sehr ungünstig ist und dass wir beim Ausfall desselben auch kein Trinkwasser mehr produzieren können!

c) Anlagenaufbau: Die einzelnen Anlagen der verschiedenen Hersteller gibt es meist in zwei Bauformen: Als „Baukastenanlage" - bei der die Einzelkomponenten im Boot montiert und zusammengebaut werden müssen - und als „Kompaktanlage", wobei die einzelnen Komponenten meist in einem Rack oder Gehäuse vormontiert sind.

Es ist nicht Jedermanns Sache eine Anlage aus den Einzelkomponenten im Boot zu montieren. Meist braucht es dann noch die eine oder andere Konsole sowie die elektrische Verdrahtung, so dass es schon einiges an handwerklichem Geschick bedarf, um die Anlage sinnvoll und wartungsfreundlich zu installieren! Mitgelieferte Hochdruckanschlüsse und -Leitungen aus Plastik - wie dies besonders in Montage-Set's aus USA geliefert wird - bedürfen schon einiges Fingerspitzengefühls um sie zuverlässig zu montieren. Hier ist Edelstahlanschlüssen und konventionellen Hochdruckleitungen eindeutig der Vorzug zu geben! Die Kompaktanlagen, die im Rack oder Gehäuse vormontiert sind, glänzen meist durch ihr hohes Gewicht. Diese Anlagen sind schön, kompakt und einfach zu installieren. Unbedingt beachten muss man aber, dass in diesen Anlagen die Einzelkomponenten im Störfall meist völlig unzugänglich sind und dass selbst bei einer kleinen Undichtigkeit die komplette Anlage demontiert werden muss! Grosses Augemerk sollte auch auf die Vorfiltration gelegt werden. Hierzu gehören: ein Grobfilter (ca. 20µm Maschenweite), ein Feinfilter (ca. 5µm Maschenweite) und ein Aktivkohlefilter als „Polizeifilter". Auch in die Spülwasserleitung sowie in die Permeat-(=Trinkwasser-) Leitung gehört ein Aktivkohlefilter. Wählen wir diese Filter etwas grösser, so danken sie's uns mit guten Filterleistungen und langen Wartungsintervallen. Wer sich also eine neue Anlage kaufen will, sollte unbedingt darauf achten, dass es nicht die energetisch günstigen Anlagen sind, die einen zuverlässigen Betrieb garantieren und dass bei „Kompaktanlagen" oftmals bereits eine kleine Störung einen grossen Wartungsaufwand nach sich zieht. Die Leistungswerte der verschiedenen Anlagen sollten unbedingt auch für einen Salzgehalt von 42g/l erfragt und verglichen werden und der Salzgehalt im Trinkwasser sollte unter allen Bedingungen unter 500mg/l bleiben. Wer weitere Informationen zum Thema möchte, findet diese unter www.aquavendola.com oder er sollte einmal eines unserer Seminare besuchen.

Marianne Speicher & Hans Bräuer / SY „PECIVENDOLA"

# Inhaltsverzeichnis:


1. **1. WASSER ÜBERALL UND NICHTS ZU TRINKEN! 3**

1.1 Einführung 3
1.2 Wasser: Chemie, Physik und Homöopathie 3
1.3 Die Definition von Trinkwasser 4
1.4 Wasser =>> Vorkommen und Menge 5
1.5 Wasserbedarf 5
1.6 Wasserknappheit oder gibt's wirklich nichts zu trinken? 7
1.7 Wasseraufbereitung 8

2. **2. DIE TRINKWASSERGEWINNUNG AUS MEERWASSER 10**

2.1 Einführung 10
2.2 Das Meerwasser 12

3. **3. DIE RO (RO =„REVERS-OSMOSE"=UMKEHROSMOSE) 13**

3.1 Grundlage der Revers-Osmose 13
3.2 Prinzipelle Funktionsweise der Membranverfahren 14

4. **4. GRUNDLAGEN DER RO-SYSTEME ZUR MEERWASSERENTSALZUNG 16**

4.1 Einführung 16
4.2 Faktoren, die die Leistung einer RO-Anlage beeinflussen 17

5. **5. DIE RO-ANLAGE 20**

5.1 einfache Ro-systeme 20
5.2 Optimierungsmöglichkeiten an einfachen RO-systeme 21
5.3 RO-Systeme mit Energierückgewinnung 22
5.4 Kleine Kompakt-Systeme 23
5.5 Die optimale Kompaktanlage: 25

6. **6. DER RO-ANLAGEN-AUFBAU 26**

6.1 Die RO-Membrane 26
6.2 Das Druckrohr des Spiral-Moduls 29
6.3 Die RO-Pumpe 30
6.4 Pumpen-Antriebsmotoren 31
6.5 Die Vorfiltration 31
6.6 Hersteller von RO-Kleinanlagen 32

7. **7. DER BETRIEB VON RO-KOMPAKTANLAGEN 33**

7.1 Einführung 33
7.2 Die Anlagenmontage 33
7.3 Der Anlagenbetrieb 35
7.4 Zusammenfassung 39

8. **8. DER SELBSTBAU EINER EINFACHEN RO-ANLAGE 41**

8.1 Schema und Stückliste 41
8.2 Einzelkomponenten 43
8.3 RO-Membranen 45
8.4 Die Kleinteile 46
8.5 Bezugsadressen 48

Anhang 1 Auszug aus der Trinkwasser-Verordnung 49
Anhang 2 Auszug aus den Vorschriften der FDA (USA) 53
Anhang 3 Industrielle Energierückgewinnung / Das ERI-Prinzip 61
Anhang 4 Optimierung bestehender RO-Klein-Systeme 63
Anhang 5 Hersteller kleiner Kompaktanlagen 69
Anhang 6 Artikel aus der TO-Vereinszeitung 95